



Manual de **CAMINOS RURALES**

COMISIÓN DE CAMINOS RURALES

ABRIL DE 2018



Asociación Argentina
de Carreteras

Asociación Argentina de Carreteras
Manual de caminos rurales. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires :
Asociación Argentina de Carreteras, 2018.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-28682-8-4

1. Ingeniería Civil. 2. Ingeniería de la Construcción. 3. Ingeniería Hidráulica.
CDD 627

Diseño y diagramación: **ILITIA GRUPO CREATIVO** / ilitia.com.ar

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra -incluido el diseño tipográfico y de portada-, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del editor.

Hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

Buenos Aires - Argentina, Abril de 2018

» Introducción

Desde su creación en 1952, la **Asociación Argentina de Carreteras** ha bregado *Por Más y Mejores Caminos*, en un sistema integrado de transporte. Ello implica el esfuerzo por la creación de una red integral de carreteras que comunique las distintas regiones del país y a éstas con el resto del continente americano, con el objetivo de lograr una red de caminos funcional a las distintas actividades económicas de la nación y sus habitantes.

En ese sentido, sabemos que un sistema de transporte integrado requiere una red de caminos que permita no solo la comunicación por rutas o autopistas nacionales y su vinculación con los caminos provinciales, sino también el desarrollo del eslabón básico que vincule a las explotaciones productivas con todo el sistema de transporte. Ese eslabón -el de los caminos llamados terciarios- requiere no solo su desarrollo sino también su mantenimiento permanente.

Un sistema racional de transporte demanda la interacción entre todas sus partes porque cada una de ellas tiene una funcionalidad específica. En el caso de los caminos rurales ésta consiste en permitir la relación de la producción con el conjunto de la economía nacional. La falla en cualquiera de las partes del sistema implica sobre costos y un deterioro del producto nacional.

En nuestro país, debido a la baja intermodalidad, este sistema basa su estructura fundamentalmente en el transporte carretero, que moviliza más del 80% de las cargas y más del 90% de los pasajeros. Las redes de caminos tienen diferentes problemas, como la congestión en las grandes ciudades, algunas rutas nacionales y provinciales con baja capacidad, riesgosas y con bajo mantenimiento y por último un sistema de caminos rurales prácticamente abandonado.

Esa infraestructura básica (los caminos rurales terciarios o vecinales) es normalmente de tierra y padece de un alto grado de intransitabilidad permanente o semipermanente. Desde el centro de producción primaria hasta llegar a las rutas pavimentadas debe afrontarse el tránsito a través de caminos en muy mal estado por falta de obras adecuadas y escaso o nulo mantenimiento.

Desde el punto de vista físico, se estima que existen más de 500.000 kilómetros de caminos de este tipo, de los cuales 260.000 se encuentran en la pampa húmeda,

destacándose la provincia de Buenos Aires con 120.000 kilómetros, Córdoba con 50.000 kilómetros y Santa Fe con 60.000 kilómetros.

La necesidad de aprovechar las potencias con las que la naturaleza ha dotado al país y el esfuerzo de los productores por mejorar el rendimiento natural requiere el desarrollo de un sistema de transportes que ayude al productor y que no sea un sobre costo adicional. Si bien todo el sistema de transportes requiere mejorar su eficiencia, el caminero en general y el de caminos rurales en particular resultan ser los puntos vitales por mejorar si queremos generar un sistema más racional.

En la actualidad, con una coyuntura económica orientada a aumentar las exportaciones argentinas y a mejorar la productividad, con vistas a bajar los costos del consumo interno, el sistema de transportes constituye un cuello de botella que limita el cumplimiento de esos objetivos.

Por eso es necesario ubicar el tema en lo que creemos debe ser la apertura a una nueva etapa de desarrollo vial argentino, tendiendo a impulsar una solución definitiva para los caminos secundarios y terciarios del país.

En ese sentido, la **Asociación Argentina de Carreteras** hace muchos años viene trabajando por desarrollar una política activa y planes que contemplen a este eslabón básico de la cadena de transporte, que requiere de una acción concreta, proyectos, recursos y formación técnica para que nuestros establecimientos productivos gocen de una transitabilidad permanente.

Ya en 1974 organizamos con el Consejo Vial Federal un simposio llamado “El desarrollo de los caminos vecinales en Argentina”, en la ciudad de Paraná, provincia de Entre Ríos, con la idea de encontrar decisiones políticas y elementos técnicos para fomentar un cambio en estos caminos.

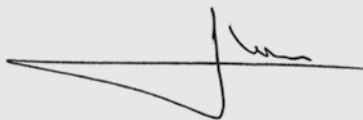
Luego de la eliminación del Plan de Caminos de Fomento Agrícola en 1977, la situación empeoró y por esa razón organizamos -también con el Consejo Vial Federal- el Congreso de Caminos Naturales de 1995, en la ciudad de Mar del Plata, y también el Congreso Argentino de Caminos Rurales en la ciudad de Olavarría en 2016.

Además, la **Asociación Argentina de Carreteras** creó en su seno una Comisión de Caminos Rurales, de modo que el tema ha estado presente en todas nuestras acciones, insistiendo con las autoridades y las entidades productivas en la necesidad de generar un plan que evite los sobre costos generados por este segmento de la red de caminos.

También ha sido un tema de debate en todos los Congresos Argentinos de Vialidad y Tránsito de las últimas décadas, convencidos de la necesidad de intercambiar ideas para encontrar propuestas innovadoras y fomentar la toma de decisiones correctas.

Con el ánimo de generar una herramienta útil para aquellos responsables del manejo y mantenimiento de los caminos de tierra, la Comisión de Caminos Rurales de la Asociación desarrolló este Manual donde podrán encontrar desde los fundamentos básicos de hidrología, hidráulica y drenaje hasta las herramientas para el control de gestión, pasando por las clasificación y estabilización de suelos, conceptos de diseño geométrico, aspectos de planificación de una red vial y tareas de conservación, entre otros temas.

Por ello, la **Asociación Argentina de Carreteras** ofrece este documento a la sociedad confiando en que el Manual de Caminos Rurales sea un aporte de gran valor técnico para quienes trabajan a diario con la gestión y conservación de las redes terciarias, esperando una vez más seguir aportando ideas y soluciones *Por Más y Mejores Caminos*.

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'G' followed by a horizontal line and a small flourish.

Ing. Guillermo Cabana
Presidente de la
Asociación Argentina de Carreteras



» Prólogo

Los caminos rurales en Argentina:

Un freno al desarrollo.

Necesidad de un Plan de Caminos Rurales.

Conocemos el deterioro creciente de nuestras redes de caminos rurales, afectados no solo por fenómenos meteorológicos extremos, sino también por un tránsito de vehículos y equipos de trabajo que se ha intensificado significativamente tanto en su frecuencia como en el nivel de cargas y la falta de una política adecuada para su mantenimiento. Estas redes viales se componen, en su mayor parte, por caminos de jurisdicción municipal y con alguna integración de caminos provinciales de la red terciaria, pero en su conjunto el problema recae íntegramente sobre cada municipio.

Frente a ello es necesario provocar un cambio sustancial en la política de conservación y mejora de los caminos que constituyen las redes terciarias, con el objetivo de asegurar el tránsito permanente todo el año, permitiendo el paso de personas y mercaderías.

La mayoría de estos caminos son de tierra y no requieren su pavimentación, sino un correcto mantenimiento y el desarrollo de obras básicas que permitan su transitable permanente, evitando que sean canales por donde circule el agua, su prin-

cipal enemigo y generador del aislamiento de los establecimientos agropecuarios. Resulta por demás clara la importancia de contar con un sistema que resuelva el problema de intransitabilidad -permanente o transitoria- ya que esta ocasiona un grave perjuicio a la economía nacional, pues afecta la competitividad de nuestros productos, generando un sobre costo que redunde en una baja en la rentabilidad del productor.

Para superar estas dificultades y obtener beneficios concretos en la movilización de los productos agrícolas es indispensable establecer un plan a largo plazo, que tome el objetivo básico de lograr transitable permanente a los caminos, con un adecuado y racional mantenimiento y con mejoras progresivas.

Para ello es menester aunar la capacidad realizadora de la Nación, las provincias y las comunas, con la participación de los propios productores, con el aporte y la auditoría del uso de los recursos asignados.

El primer aspecto por desarrollar es la puesta en valor estructural de los caminos existentes, asegurando para el futuro

una conservación adecuada, que evite la pérdida de transitabilidad a lo largo de los años y que permita mejoras sustanciales cuando la necesidad de carga y tránsito lo justifiquen.

Es necesario agudizar el sentido común, generando mecanismos que permitan recrear el nivel de servicio para el que fueron creados e iniciar una paulatina mejora en su transitabilidad.

Por ello el centro de gravedad de un plan que tienda a considerar con una visión integral posibles soluciones al problema actual de los caminos rurales debe considerar el desarrollo de una política activa de puesta en valor, mejora y conservación de toda la red de caminos.

Este objetivo de puesta en valor y mejora debe partir de un análisis en el nivel comunal de todos los caminos rurales, jerarquizando los mismos en diferentes niveles de servicio atento a su vinculación con centros de acopio, estaciones de carga, conexión con las redes provinciales o nacionales y con la cantidad e importancia productiva de los establecimientos agropecuarios a los que sirven.

Una vez definida esta jerarquización, que deberá contar con la presencia activa de las autoridades comunales y de los productores locales, deberán definirse planes directores de mediano y largo plazo para la conservación básica, la puesta en valor y la mejora estructural de cada uno de los caminos existentes.

Para ello será necesario un shock de inversión inicial, de carácter estratégico, que ponga en valor la red existente, disponiéndola para su uso racional y económicamente eficiente o bien un plan paulatino de desarrollo que atienda jerárquicamente a los diferentes caminos rurales.

La solución del shock pasa, ineludiblemente, por la necesidad de una enérgica inversión inicial en obras de ingeniería caminera, en un período relativamente corto para su realización. Dichas obras requieren la disponibilidad temporaria de fondos adicionales a los que genera el sistema. Por su parte la decisión de encarar mejoras paulatinas implica el ordenamiento del sistema y la fijación de objetivos y recursos a destinar en corto, mediano y largo plazo.

En ambos casos, por la magnitud del esfuerzo, vemos con dificultad la asunción de inversiones directas por parte del Estado para financiar el desarrollo de un plan como el mencionado.

Aun así, si los problemas financieros demoraran la puesta en valor, con más razón las autoridades comunales y provinciales deberían relevar la red, jerarquizar la misma y producir un plan director acorde a distintas posibilidades económicas, poniendo siempre como centro un racional esquema de conservación que mejore paulatinamente la transitabilidad.

Además, existen una serie de tributos que los productores pagan que, orientán-

dolos hacia la generación de instrumentos financieros modernos, podrían ser el vehículo para hacer posible la inversión. Todas las posibilidades ciertas de financiación mencionadas determinan, según cálculos efectuados, que es posible financiar el desarrollo de planes racionales y serios de caminos rurales, que tengan una visión integral de los mismos, que planteen distintas soluciones técnicas, con una puesta en valor de las redes consideradas y un importante beneficio para los productores.

La **Asociación Argentina de Carreteras** ha efectuado en los últimos años propuestas y análisis de rentabilidad de planes que puedan afectar al conjunto de caminos rurales del país, que deberían ser adaptados a las circunstancias regionales de las diferentes producciones.

Dichas propuestas se han basado los aspectos vinculados a la gestión de estos caminos, su financiamiento y sus beneficios económicos y sociales, tanto cualitativos como cuantitativos, de forma tal de demostrar la importancia que para la Nación y para cada uno de los estamentos institucionales tiene la elaboración de un Plan sostenido de Caminos Rurales.

Es por tanto necesario un nuevo plan que tome en cuenta la importante incorporación de los usuarios directos que tomó el antiguo Plan de Caminos de Fomento Agrícola, con importantes niveles institucionales de participación, un enfoque descentralizado de ejecución y criterios

y parámetros técnicos de planificación, control y financiamiento, de forma tal de instaurar criterios racionales para el uso de los recursos.

En ese sentido los principios básicos de este plan deberían ser:

- ✓ La participación de la Nación, las Provincias y los Municipios.
- ✓ La definición de la conservación de la red como prioridad básica.
- ✓ Instaurar un esquema institucional que permita en cada municipio la participación de productores y organizaciones profesionales.
- ✓ Realizar un Plan Director a nivel municipal con un horizonte no menor a 10 años.
- ✓ Adecuar soluciones propuestas por los usuarios y productores al Plan Director Municipal.
- ✓ Considerar una ejecución descentralizada del Plan a nivel municipal o inferior.
- ✓ Realizar una auditoría técnica y financiera externa a los municipios (pública o privada).

El financiamiento de dicho plan debería convenirse entre Nación, Provincias y Municipios, considerando un esquema de aportes conjuntos que incluya a los beneficiarios directos e indirectos de las mejoras.

Si bien deben considerarse los beneficios específicos de cada zona, distintos esquemas de desarrollo determinan que las tasas de retorno de la inversión son superiores al 35%, debido a la eliminación

de los sobrecostos actuales de una red deteriorada.

Pero también existen otros beneficios económicos, sociales y políticos que implican un mejoramiento de la calidad de vida de la población de la zona de influencia por un acceso fluido a prestaciones y servicios esenciales como salud, educación, seguridad, entre otros.

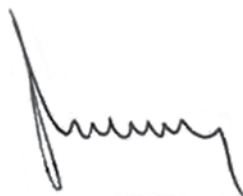
El grave problema que padecen directamente los productores primarios del país, e indirectamente todos los argentinos, tiene la posibilidad de encararse haciendo uso de la racionalidad técnica y utilizando los instrumentos financieros existentes, en un claro ejemplo de asociación público-privada.

Es necesaria la voluntad política de los gobernantes, facilitando el proceso y asumiendo la importancia del problema y la voluntad política de los administradores comunales que deberán romper con una visión cortoplacista que impide encarar una solución definitiva.

Es necesario también un esquema de racionalidad técnica que atienda a una visión integral y finalmente es necesaria la participación de los productores, comprometidos en cambiar definitivamente una situación intolerable.

De la efectividad de esos compromisos puede surgir una nueva revolución vial que potencie definitivamente los esfuerzos de nuestra producción rural.

Este Manual aspira a ser un elemento que, junto a otros, ayude a generar ese esquema que nos permita utilizar la mejor solución técnica para estos caminos.



Lic. Miguel Salvia

*Vicepresidente 2º de la
Asociación Argentina de Carreteras*



Comisión de Camino Rurales

PRESIDENTE

Ing. Nicolás Berretta

SECRETARIO

Ing. Bernardino Capra

INTEGRANTES

Lic. Mariano Barone

Ing. Diego Calo

Ing. Norberto Cerutti

Ing. Oscar Fariña

Ing. Miguel Fernández Madero

Sr. Néstor Fittipaldi

Arq. Liliana Fsybounmaker

Ing. Julio Gago

Lic. Oscar Hansen

Ing. Mario Jair

Lic. Haydée Lordi

Ing. Soledad Mallamaci

Mmo. Leonardo Ossona

Ing. Andrés Poletti

Ing. Matías Polzinetti

Sr. M. Enrique Romero

Lic. Miguel Ángel Salvia

Ing. Norberto Salvia

Ing. Jorge Santos

Sra. Analía Wlazlo



Índice

Introducción	pág. 03
Prólogo	pág. 07
Comisión de Caminos Rurales	pág. 11

Capítulo » 1 Aspectos de Planificación de una Red Vial *pág. 17*

1.1 Programar el gerenciamiento de una red vial	pág. 18
1.2 La planificación como un sistema de gerenciamiento de conservación	pág. 18
1.3 Partes esenciales de un sistema de gerenciamiento de conservación	pág. 18
1.4 Definición de tramos de la red	pág. 19
1.5 Clasificación de una red de caminos	pág. 19
1.5.1 Por jurisdicción	pág. 19
1.5.2 Por su función principal	pág. 19
1.5.3 Por su importancia relativa dentro de la red	pág. 20
1.6 Nomenclatura de la red vial	pág. 20
1.7 Elementos necesarios para el relevamiento vial	pág. 21
1.8 Seguridad vial en caminos rurales	pág. 22
1.9 Conclusiones	pág. 23

Capítulo » 2 Aspectos básicos de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de los Caminos Rurales *pág. 25*

2.1 Introducción	pág. 26
2.2 Recursos hídricos superficiales	pág. 27
2.3 Proyecto hidráulico de un camino	pág. 27
2.4 Ejemplo: Puente sobre el río Miriñay	pág. 28
2.5 El camino y el drenaje	pág. 30
2.5.1 Cunetas	pág. 32
2.5.2 Alcantarillas	pág. 32
2.5.3 Badenes	pág. 33
2.6 Conservación de las obras de drenaje	pág. 33
2.6.1 Mantenimiento en cunetas	pág. 33
2.6.2 Mantenimiento en alcantarillas	pág. 33
2.6.3 Conservación en los badenes	pág. 34
2.7 Reglas prácticas adicionales para el drenaje de caminos rurales	pág. 34

Capítulo » 2 Aspectos básicos de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de los Caminos Rurales *(continuación)*

2.7.1	Introducción	pág. 34
2.7.2	Control del drenaje superficial de caminos	pág. 35
2.7.3	Control en entradas y salidas de alcantarillas	pág. 35
2.7.4	Cruces de zonas inundadas y de praderas	pág. 35
2.8	Introducción al diseño	pág. 36
2.9	Conclusiones	pág. 38

Capítulo » 3 Conceptos geométricos *pág. 39*

3.1	Estado actual de una gran parte de los caminos de tierra	pág. 40
3.2	Caminos de tierra bien conservados	pág. 41
3.3	Perfil tipo de un camino rural	pág. 42
3.3.1	Zona de camino	pág. 42
3.3.2	Calzada	pág. 42
3.3.3	Trocha o carril	pág. 42
3.3.4	Banquinas	pág. 42
3.3.5	Cunetas	pág. 43
3.4	Dimensiones de la obra básica	pág. 43
3.5	Pendiente transversal del camino	pág. 43
3.6	Anchos mínimos deseables de la zona de camino	pág. 44

Capítulo » 4 Tareas de Conservación en Caminos Rurales *pág. 45*

4.1	Introducción	pág. 46
4.2	Evaluación de los tipos de deterioro	pág. 47
4.3	Tipos de tareas de mantenimiento rutinario	pág. 48
4.4	Rendimiento y costos operativos	pág. 53
4.5	Equipos y organización de las tareas (división por sección o zona)	pág. 54
4.6	Tareas mejorativas	pág. 54

Capítulo » 5 Clasificación de los Suelos y su Estabilización

pág. 55

5.1	Introducción	<i>pág. 56</i>
5.2	Color de los suelos	<i>pág. 56</i>
5.3	Estructura y tamaño de los suelos	<i>pág. 56</i>
5.4	Identificación de los tipos de suelos	<i>pág. 59</i>
5.5	Compactación	<i>pág. 64</i>
5.6	Elección del equipo de compactación	<i>pág. 66</i>
5.7	Estabilización de suelos	<i>pág. 70</i>
5.7.1	Estabilización mecánica	<i>pág. 72</i>
5.7.2	Estabilización física	<i>pág. 72</i>
5.7.3	Estabilización química	<i>pág. 73</i>
5.7.3.1	Características funcionales	<i>pág. 74</i>
5.7.3.2	Sistema constructivo.	<i>pág. 75</i>
5.7.3.3	Características fisicoquímicas y condiciones para el correcto manipuleo de los productos químicos	<i>pág. 77</i>
5.7.3.4	Consideraciones finales	<i>pág. 77</i>
5.7.4	Estabilización físico-química	<i>pág. 77</i>
5.7.4.1	Suelos estabilizados con cal	<i>pág. 77</i>
5.7.4.2	Suelos estabilizados con cemento	<i>pág. 79</i>
5.7.4.3	Ejecución de suelos estabilizados con cal y/o cemento	<i>pág. 83</i>
5.7.4.4	Pavimentos de suelo cemento	<i>pág. 89</i>
5.7.5	Estabilización con asfalto	<i>pág. 90</i>
5.7.5.1	Principios de la estabilización bituminosa	<i>pág. 90</i>
5.7.5.2	Materiales	<i>pág. 91</i>
5.7.5.3	Métodos de dosificación	<i>pág. 92</i>
5.7.5.4	Compactación de los especímenes a ensayar	<i>pág. 94</i>
5.7.5.5	Particularidades de los ensayos	<i>pág. 95</i>
5.7.5.6	Método de Mc Kesson	<i>pág. 95</i>
5.7.5.7	Ensayo de absorción	<i>pág. 97</i>
5.7.5.8	Ensayo de resistencia al escurrimiento plástico	<i>pág. 97</i>
5.7.5.9	Métodos constructivos	<i>pág. 98</i>
5.7.5.10	Etapas constructivas	<i>pág. 101</i>

Capítulo » 5 Clasificación de los Suelos y su Estabilización

(continuación)

5.8 Capas de Recubrimiento de los Estabilizados	<i>pág. 102</i>
5.8.1 Tratamientos bituminosos superficiales sin agregados pétreos	<i>pág. 103</i>
5.8.2 Tratamientos bituminosos superficiales con agregados pétreos	<i>pág. 103</i>

Capítulo » 6 Herramientas para un mejor Control de Gestión

pág. 105

6.1 Introducción	<i>pág. 106</i>
6.2 Guía metodologica para la gestión de caminos rurales	<i>pág. 107</i>
6.2.1 Objetivo, enfoque y alcance	<i>pág. 107</i>
6.3 Plan estratégico de caminos rurales	<i>pág. 108</i>
6.4 Actividades del plan estratégico de caminos rurales	<i>pág. 109</i>
6.5 Revisión de metodologías existentes	<i>pág. 109</i>
6.6 Revisión de modelos existentes	<i>pág. 111</i>
6.7 Breve descripción de los modelos de gestión	<i>pág. 111</i>

Capítulo » 7 Bibliografía y enlaces de consulta

pág. 113

Notas

pág. 118



Capítulo » 1

Aspectos de Planificación de una Red Vial

Autores:

Ing. Bernardino Capra

Lic. Mariano Barone

Capítulo » 1

Aspectos de Planificación de una Red Vial

1.1 PROGRAMAR EL GERENCIAMIENTO DE UNA RED VIAL

Históricamente, el mantenimiento de la red que componen los caminos de tierra se ha basado en criterios tales como:

- El presupuesto del año anterior, ajustado en función de algunas necesidades, como por ejemplo la inflación.
- Dar respuestas en función de las demandas o quejas de los productores.
- Considerar la experiencia relativa adquirida de los técnicos y administradores locales.

Sin embargo, estos criterios generalmente carecen de racionalidad y eficiencia y combinados con la escasez de presupuesto, intensifican la crisis del sector vial y con ello todos los factores productivos asociados a este.

En función a la experiencia intercambiada entre esta Asociación y productores, municipios, departamentos y regiones, según cada caso, surge la importancia de la presencia de la ingeniería vial en la red de caminos rurales.

Como primer paso en la implementación de un programa de gerenciamiento de una

red vial deben plantearse objetivos y estrategias dentro del municipio, tomando como base una política bien definida para alcanzar de la mejor manera las metas definidas.

Debe señalarse además que el programa diseñado debe ser evaluado permanentemente y esto se logra a través del control de gestión. Este es un proceso dinámico que tiene por objetivo contrastar la validez y el grado de cumplimiento de las metas establecidas y su relación con el éxito de la estrategia propuesta.

1.2 LA PLANIFICACIÓN COMO UN SISTEMA DE GERENCIAMIENTO DE CONSERVACIÓN

Puede definirse como un *“conjunto de herramientas o métodos que pueden asistir a los responsables de las decisiones a encontrar estrategias económicamente efectivas a los efectos de proveer, evaluar y mantener los caminos en condiciones aceptables de servicio”*.

1.3 PARTES ESENCIALES DE UN SISTEMA DE GERENCIAMIENTO DE CONSERVACIÓN

Se enumeran a continuación los componentes de la red vial que conforman un sis-

tema de gerenciamiento de conservación:

- Inventario de la red vial: definición de tramos y su jerarquización, estado de conservación de dichos tramos, estado de obras de arte, etc. Los elementos que deben ser atendidos en la conservación de un camino serán:
 - Estado de la calzada y sus banquetas
 - Drenajes transversales
 - Drenajes longitudinales o laterales
 - Ubicación y estado de alcantarillas
 - Limpieza de préstamos
 - Elementos de seguridad vial (señales reglamentarias, preventivas, orientativas)
 - Puentes (estado de la estructura, necesidades de mantenimiento)
- Inventario de la cobertura (factibilidad técnico-operativa): inventario del parque vial (estado del mismo), su mantenimiento, estimación del costo operativo de cada equipo, disponibilidad operativa, personal a cargo y su grado de capacitación
- Base de datos conteniendo información histórica
- Presupuesto real
- Horizontes de planificación alternativos (metas alternativas)
- Priorización de proyectos
- Identificación de mejores procedimientos de conservación, mantenimiento y rehabilitación

1.4 DEFINICIÓN DE TRAMOS DE LA RED

Para clasificar los caminos rurales es posible seguir diversos criterios pero general-

mente estas vías de comunicación están divididas por categoría de importancia.

Una de las características principales del tránsito en este tipo de caminos es su heterogeneidad. Además su utilización es casi siempre marcadamente estacional, con una gran incidencia de los factores meteorológicos y con grandes fluctuaciones en su tránsito medio diario anual (TMDA). Asimismo, la gran variedad de tipos de vehículos que circulan por ellos, como camiones, tractores, maquinarias agrícolas, automóviles, entre otros, les confiere un carácter especial.

1.5 CLASIFICACIÓN DE UNA RED DE CAMINOS

Debemos clasificar la red de caminos diferenciando distintas intervenciones (frecuencia de pasadas de motoniveladoras, priorización de alteos y reconformados). Podemos entonces clasificarlos de distinta manera, a saber:

1.5.1 Por jurisdicción:

- Nacionales
- Provinciales
- Municipales

1.5.2 Por su función principal:

- Caminos de servicio a poblados, escuelas rurales, etc.
- Caminos de servicio a zonas de producción (agrícolas, ganaderas, lácteas, etc).
- Caminos de servicio a otras zonas (potenciar zonas forestales, por ejemplo).

1.5.3 Por su importancia relativa dentro de la red

Los caminos de servicio a poblados o zonas de producción se pueden dividir en:

- **Caminos principales o de primer orden:** constituyen los ejes del transporte dentro de las zonas a las que sirven. Parten de los núcleos urbanos en forma radial y con frecuencia se enlazan entre sí conectando pequeñas localidades. Tienen acceso a redes pavimentadas.
- **Caminos secundarios o de segundo orden:** de menor tránsito que los principales, se conectan a estos y también lo suelen hacer a las redes pavimentadas.
- **Caminos terciarios, terminales o de tercer orden:** de escaso tránsito, dan acceso a una o pocas parcelas y se conectan a los caminos secundarios o en ciertos casos a los principales.



Desde el punto de vista práctico y a los fines de este manual, adoptaremos la clasificación según su importancia relativa dentro de una red.

Es necesario aclarar que no están contemplados dentro de esa red a las calles municipales de la zona urbana y suburbana.

1.6 NOMENCLATURA DE LA RED VIAL

Es muy importante como primer paso en el gerenciamiento de una red vial poder identificar de manera inequívoca cualquier tramo de camino que la compone. Para esto debe nombrarse de alguna manera cada camino. Generalmente es

muy común en las redes viales municipales no tener identificados a los caminos de acuerdo a una nomenclatura que resulte lógica y fácil de entender.

Si bien la red provincial de tierra compuesta por rutas provinciales sin pavimentar y por la red secundaria está debidamente nombrada, es común observar que no se tiene inventariado a los caminos rurales municipales de acuerdo a una codificación. De esta manera, por costumbres locales, se denomina a un camino con el nombre de alguna estancia, chacra o paraje importante hacia donde se dirige.

Existen distintas formas para su designación. Una de las que se ha empleado con frecuencia es la configuración radial, en la cual se asigna con la letra P al camino principal, partiendo del núcleo urbano y siguiendo la marcha de las agujas del reloj. De esta forma sucesivamente se tendrán P1, P2, P3, etc, diferenciándose de los caminos principales provinciales cuya identificación inicia con el código del partido.

Los caminos principales municipales podrían clasificarse con la designación PM.Nº1, Nº2, Nº3, etc. De estos partirán a su vez caminos municipales secundarios o de segundo orden identificados con la letra S, como S.M.Nº1, Nº2, Nº3, etc, y finalmente los terciarios o de tercer orden serán designados con la letra T, como T.M.Nº1, Nº2, Nº3, etc. Al igual que los secundarios y principales para la numeración se seguirán el mismo criterio de configuración radial.



Imagen N° 1 - Nomenclatura de caminos rurales (Fuente DVBA)

Otro formato de identificación de los caminos podría realizarse codificándolos en función del cuartel (región) en el que se encuentra: camino IV-01 (cuartel cuarto, camino uno).

La Dirección de Vialidad de la Provincia Buenos Aires ha configurado de esta manera su red de caminos secundarios. Se indica a continuación como ejemplo un sector del municipio de General Alvear, cuyo código de Partido es 034. De esta manera los caminos de la red provincial dentro del partido están identificados con el prefijo 034. **(Imagen N° 1)**

De esta manera, con su código de partido se observan los distintos caminos, 034-01, 034-02, 034-03, 034-04, etc.

1.7 ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL RELEVAMIENTO VIAL

Existen en el mercado equipos de bajo costo que pueden ser utilizados para el relevamiento vial. Navegadores satelitales de mano sirven perfectamente para determinar la ubicación de elementos como alcantarillas, cartelera y cortadas del camino en sectores.

Además, el uso constante de estas herramientas tiene el fin de georreferenciar toda la red vial. Son amigables con plataformas como Google Earth que permiten identificar en coordenadas cualquier información asociada a la red vial. **(Imagen N° 2)**



Imagen N° 2 - Red de Caminos de tierra principales en el Pdo. de Las Flores (Fuente Google Earth)

Colectando estos datos georreferenciados puede avanzarse incluso hacia la implementación de un GIS (Sistema de Información Geográfica).

Un GIS permite almacenar, analizar y gestionar datos de una red vial de manera espacial. Esto permite ver en una plataforma como Google Earth a la red de caminos y sus elementos constitutivos. Permite además incorporar datos de manera dinámica, actualizando al sistema (por ejemplo, alcantarillas reparadas, caminos estabilizados, cortadas eliminadas mediante el alteo, etc.).

A su vez, estos sistemas pueden interactuar con datos catastrales que posea el municipio, departamento o región.

1.8 SEGURIDAD VIAL EN CAMINOS RURALES

Es el objeto de este Manual presentar diversas alternativas para el adecuado mantenimiento de la red terciaria. Estas soluciones presentan un cambio en las condiciones de rodamiento para caminos de tierra y/o ripio, evitando el problema pendular del polvo al barro, asociado tanto a la conectividad como a la calidad de vida de los vecinos.

No obstante, es directamente proporcional a esta mejora la relación de “confianza” al transitar dichos caminos. Más confianza, más velocidad. Los caminos rurales no se adaptan a un diseño parametrizado y normalizado. Se han desarrollado (y siguen haciéndolo) según caprichosos criterios acordados (y a veces no tanto) inclusive entre vecinos. Estas

decisiones unilaterales, al no contar con ninguna asistencia técnica de diseño, presentan soluciones particulares que el Manual no va a poder solucionar. Por ejemplo se pueden citar curvas a 90 grados, o la existencia de curvas sin señalización alguna luego de largas rectas, entre otras.

Aunque no contamos con datos formales de aumento de la tasa de siniestralidad, la experiencia nos muestra que al mejorar el estado del trazado, las velocidades de circulación aumentarán, aumentando el riesgo sin posibilidad de control. Debemos recordar que por estos caminos también circulan peatones, ciclistas, motovehículos, vehículos traccionados a sangre de todo tipo y hasta incluso tropillas de animales mediante la técnica de arreo, aunque esta práctica está siendo prohibida por los municipios, departamentos o regiones debido al deterioro que provocan en el camino.

La tecnología permite que alguna de las soluciones para caminos rurales acepte la señalización horizontal y allí entonces debiera aplicarse tal herramienta pero en general se debe contar con una señalización vertical tanto de sectores sinuosos, curvas, alcantarillas y puentes que suelen ser de menor ancho que el camino. Instituciones internacionales como la International Road Federation (IRF) están trabajando sobre el tema. En países vecinos, como en Chile por ejemplo, el Ministerio de Obras Públicas está trabajando activamente en la Seguridad Vial en Caminos Básicos (denominación local de nuestros caminos rurales).

En Argentina, desde la **Asociación Argentina de Carreteras** proponemos sinérgicamente generar conciencia sobre este tema y el desarrollo de soluciones claras y normalizadas para su aplicación general.

1.9 CONCLUSIONES

Los puntos anteriores describen los trabajos básicos a realizar en primer lugar ante el desafío de mantener una red vial de tierra, que parten de conocer perfectamente todos los elementos que componen esa red: su longitud, sus alcantarillas, puentes y señales, entre otros. Es decir que el primer paso no implica conocer cuánta maquinaria hay para encarar el plan director vial sino cuáles son los alcances de las tareas que deberemos implementar y que se encuentran desarrolladas en los capítulos que siguen. Podemos agregar además que con la puesta en marcha de un plan director se logran los siguientes objetivos:

- ✓ se optimiza el uso de los recursos disponibles
- ✓ se define un programa de trabajos de conservación anual y plurianual
- ✓ se calculan sus costos asociados

De esta manera se logra implementar un modelo de gestión eficiente de conservación de la red.





Capítulo » 2

Aspectos Básicos de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de los Caminos Rurales

Autor:

Ing. Norberto J. Salvia

Capítulo » 2

Aspectos Básicos de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de los Caminos Rurales

2.1 INTRODUCCIÓN

Los investigadores norteamericanos G. Keller y J. Sherar, avalados por el patrimonio en su país de un millón de kilómetros de caminos rurales, sugieren que *“tres de los aspectos más importantes en el diseño de caminos son: drenaje, drenaje y drenaje”*.

Mientras que la hidrología estudia las precipitaciones pluviales, la hidráulica desarrolla la conducción del agua y el drenaje estudia el manejo del agua de lluvia procedente de los campos linderos y la que cae sobre la calzada del camino, con el objetivo de preservar su infraestructura.

Ampliando con más precisión la síntesis anterior, diremos que los aspectos relacionados con el drenaje se apoyan por un lado en la hidrología, que es la disciplina que se ocupa especialmente de estudiar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la Tierra, en el suelo y en la atmósfera; y por otro lado en la hidráulica, que es la rama de la física que estudia el comporta-

miento de los líquidos en función de sus propiedades específicas.

Este capítulo desarrolla fundamentalmente la temática inherente a la conducción y tratamiento de las cunetas de aguas superficiales, que son parte integrante del camino y cumplen la función de ser contenedores de las precipitaciones pluviales, permitiendo el libre escurrimiento de las aguas.

La evacuación de las cunetas longitudinales se hace a través de obras de drenaje transversal, que evitan justamente la acumulación del agua e inundaciones de las propiedades linderas al camino.



El dimensionamiento, la ubicación de las obras de drenaje, su espaciamiento, sus protecciones y su mantenimiento son una de las prácticas fundamentales para la gestión de los caminos rurales.

Asimismo este capítulo nos introduce someramente en aspectos de diseño y cálculo de los derrames, que pueden ser completados en la bibliografía que mencionamos.

El primer paso para abordar un proyecto hidráulico es la determinación de las cuencas de aporte, lo que requiere observar desde las grandes cuencas hasta las derivaciones que inciden en la zona en estudio.

Luego se debe analizar la información hidrológica y meteorológica del área en estudio, las características del suelo, las pendientes de la cuenca, entre otros aspectos, para llegar a la estimación de los caudales de las cuencas generadas por el camino, luego al diseño de las obras, pasando antes por aspectos estadísticos para estimar la tormenta de diseño para los 25, 50 o 100 años siguientes según la característica de la obra de drenaje transversal.

El tratamiento topográfico y el diseño de la rasante de los caminos también inciden en el factor hidráulico y en otros factores de la conservación, tema que se tratará en otros capítulos del presente Manual.

2.2 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

A modo de ejemplo, para el desarrollo del temario comenzaremos con la descripción de los recursos hídricos superficiales de una provincia. Se ha tomado la provincia de Corrientes (**Imagen N° 1**) deteniéndonos en una cuenca particular que es la vinculada con el río Miriñay, cuyo caudal se determinó para ser utilizado en el proyecto de un puente en la autovía Ruta 14, sobre el que se exponen fotos en periodos de estiaje y de crecientes extraordinarias. Fundamentalmente las precipitaciones pluviales

asociadas al relieve superficial generan áreas denominadas cuencas, que van generando en su zona más baja zanjones y arroyos que desembocan en ríos que finalmente son afluentes de ríos de gran caudal, definitorios en muchos casos del nombre de la cuenca.



Imagen N° 1 - Provincia de Corrientes

2.3 PROYECTO HIDRÁULICO DE UN CAMINO

Las tareas iniciales del proyecto de un camino concluyen con la definición de su traza. Sobre ella, representada en trazo grueso en la **imagen N° 2**, desarrollamos el estudio hidráulico donde se generan 30 cuencas para este ejemplo. Este estudio comprende determinar los caudales

que inciden en la obra de cierre. Es decir, por la sola presencia del camino, si no se incorporaran alcantarillas y se diseñaran cunetas longitudinales, se produciría un embalse cuyo efecto repercutiría en inundaciones en los campos linderos.

Se trata de un tramo de camino de unos 60 kilómetros de longitud. En base a las curvas de nivel se definen las cuencas. En este caso, la de mayor superficie de aporte de agua es la cuenca 2, que genera la necesidad de un puente, mientras que las magnitudes de las demás requieren proyectos de alcantarillas. Este abordaje nos lleva a integrarnos con el camino rural y su drenaje, las obras de cunetas longitudinales, alcantarillas y badenes y la conservación de las mismas con reglas prácticas.

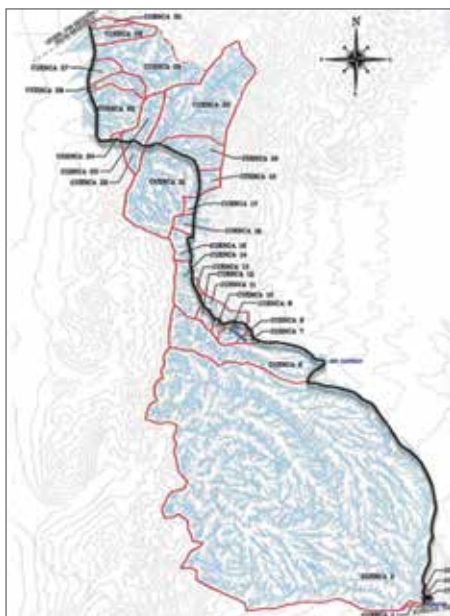


Imagen N° 2 - Cuencas sobre la traza del camino

2.4 EJEMPLO: PUENTE SOBRE EL RÍO MIRIÑAY

En la siguiente foto se aprecia al río Miriñay, en el límite de los Departamentos de Curuzú Cuatiá y Paso de los Libres, en período de estiaje. El sentido de la corriente es hacia el río Uruguay.



Imagen N° 3 - Río Miriñay en período de estiaje

A continuación se observa al río en ocasión de una creciente extraordinaria y la imposibilidad de su derrame en el río Uruguay, que también estaba en creciente. Estas imágenes fueron tomadas durante el desarrollo de la construcción de la Autovía RN 14.



Imagen N° 4 - Río Miriñay en período de una creciente extraordinaria



Imágenes N° 5,6,7,8,9,10 - Río Miriñay en período de una creciente extraordinaria

El caudal de diseño del puente, considerando una recurrencia de 100 años, fue de $3.438 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y la velocidad del agua de $2,29 \text{ m/seg.}$, valores concordantes con la sección hidráulica diseñada.

colapso de la estructura y su desmoronamiento, hecho que no ocurrió, en base al diseño fundamentado en los cálculos y proyecciones probabilísticas adoptadas.

Es importante mencionar que si el agua llegara al nivel de las vigas, ocurriría el

En cuanto a las alcantarillas, el proyecto hidráulico determinó cinco cuencas de aporte con los siguientes valores de derrame máximo (DM) y capacidad de descarga (CD):

Tabla N° 1 - Ejemplo de planilla de cálculo de alcantarillas

Cuenca N°	DM m³/s	CD m³/s	N° Alcantarillas
4	52,21	810,42	9
5	15,82	357,45	3
6	15,88	26,80	2
7	68,71	263,25	4
8	22,84	416,04	9

2.5 EL CAMINO Y EL DRENAJE

El libre escurrimiento de las aguas de lluvia se ve alterado por la necesaria construcción del camino, que actúa en un caso como embalse y en otro como canal.

En el caso de actuar como embalse se genera la inundación del campo lindero, como se muestra en el esquema siguiente, donde se representa que el acceso del agua de lluvia es transversal, de derecha a izquierda, de manera concordante con la topografía zonal.

Efecto Embalse

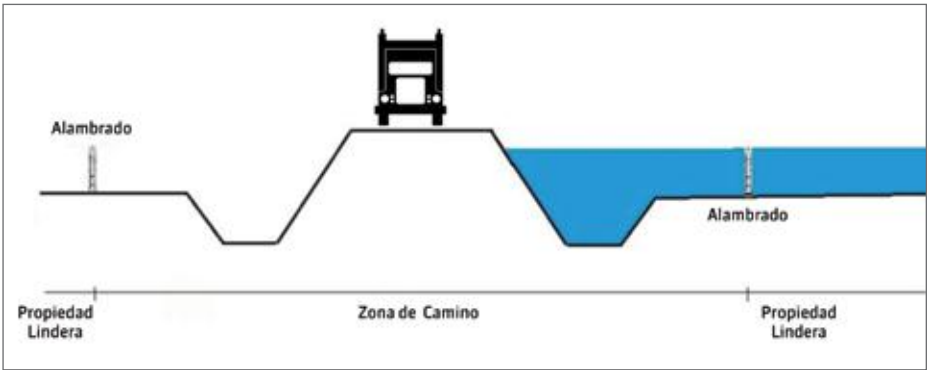


Imagen N° 11 - Efecto embalse

Este efecto se evita recurriendo al diseño de cunetas de drenaje, con el posterior proyecto de drenajes transversales al camino, a través de la construcción de alcantarillas o badenes.

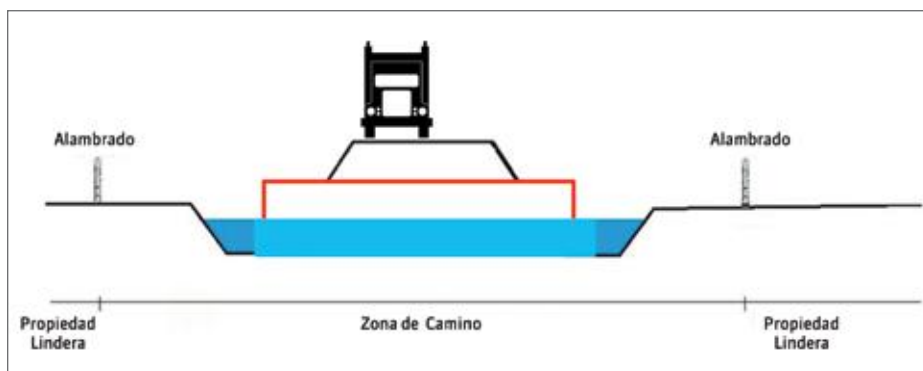


Imagen N° 12 - Camino con cunetas y drenajes transversales

Efecto Canal

En el caso del efecto canal se genera directamente la inundación de toda la zona de camino, tornándolo intransitable. Esto se evita recurriendo al diseño de una rasante que se encuentre a nivel superior al del terreno natural de las propiedades linderas, con la correspondiente obra básica con cunetas y drenajes transversales.

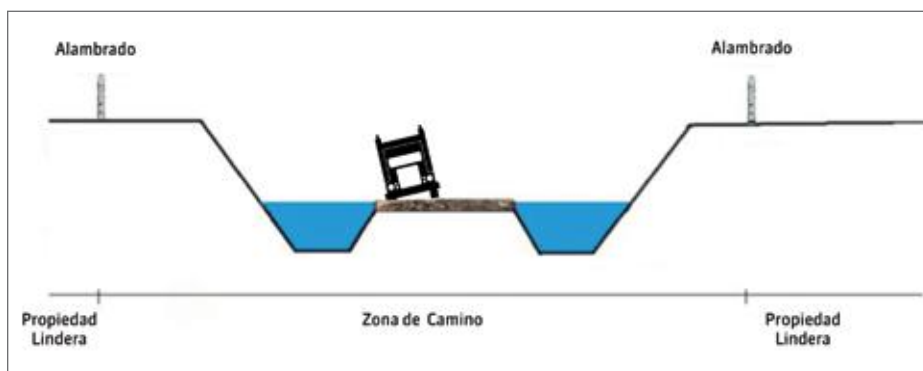


Imagen N° 13 - Efecto canal

2.5.1 Cunetas

Las cunetas o drenajes longitudinales de los caminos son zanjas revestidas o sin revestir, abiertas en el terreno, ubicadas a ambos lados, con igual o distinta pendiente. Su objetivo es captar, conducir y evacuar adecuadamente los flujos del agua superficial proveniente de los campos linderos y de la lluvia que cae sobre la calzada del camino.

Que sean revestidas o no depende de la velocidad de escurrimiento dada por las pendientes y de las características del suelo, que determinará su posibilidad de erosión.

La forma y tamaño de la sección transversal de las mismas son determinadas por el caudal a evacuar.



Imagen N° 14 - Cuenta de desagüe longitudinal

2.5.2 Alcantarillas

En nuestro país las distintas reparticiones viales adoptan por convención límites de luz entre apoyos para diferenciar alcantarillas y puentes. Para el caso de la Dirección Nacional de Vialidad, alcantarillas son aquellas cuya luz es menor o igual a 7 metros, mientras que para la Dirección de

Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, por ejemplo, alcantarillas son las obras de arte con luces menores a 5 metros.

La función de estos elementos es la de evacuar el flujo superficial proveniente de cursos naturales o artificiales que interceptan al camino rural, como así también dar alivio al caudal de agua que conducen las cunetas de desagüe.

La descarga de agua de las cunetas se efectuará por medio de alcantarillas transversales al camino, con la inclinación según la pendiente transversal del terreno natural u otras consideraciones de diseño.

La ubicación óptima de las alcantarillas depende de su alineamiento y pendiente, a fin de garantizar el paso libre del flujo sin que afecte su estabilidad.

El espaciamiento de las alcantarillas vendrá definido por el estudio de las cuencas generadas y por la topografía que incide en el proyecto en general.



Imagen N° 15 - Alcantarilla transversal de sección múltiple

2.5.3 Badenes

Son estructuras que se utilizan cuando el nivel de la rasante del camino coincide con el nivel del fondo del cauce del curso natural o del fondo de la cuneta de drenaje que intercepta su alineamiento.

El badén tiene la ventaja de permitir pasar el flujo de sólidos que se presentan esporádicamente y con mayor intensidad durante periodos lluviosos.

Otra ventaja es que dada su construcción simple pueden utilizarse en casos de emergencia cuando no ha sido posible el emplazamiento de una alcantarilla.



Imagen N° 16 - Badén en período de estiaje

2.6 CONSERVACIÓN DE LAS OBRAS DE DRENAJE

A continuación se desarrollan las tareas de mantenimiento que deberán efectuarse en cada una de las estructuras de drenaje de los caminos.

2.6.1 Mantenimiento en cunetas

Las tareas asociadas a la conservación de las cunetas parten de una inspección

exhaustiva antes y después de los periodos de lluvias, debiendo hacerse un listado de las observaciones como zonas de erosión, marcas dejadas por los escurrimientos, zonas con desbordes, daños estructurales producidos, necesidades de proyectar revestimientos en algunas zonas, como así también retardadores o saltos para disminuir la erosión.

2.6.2 Mantenimiento en alcantarillas

La conservación de las alcantarillas dependerá principalmente la presencia de material sólido de arrastre y desperdicios que se suelen acumular en las cabeceras de las mismas, reduciendo la sección hidráulica y provocando inundaciones de las cunetas, erosiones que llegan a afectar la obra básica del camino y provocar lagrimones, cárcavas y hasta desmoronamientos.



Ha de tenerse en cuenta la posible socavación a la salida de la alcantarilla, hecho que ocurre cuando la velocidad del flujo a la salida es alta. Esto requerirá tareas de conservación adecuada a fin de disminuir la velocidad de entrada.



Imagen N° 17 - Alcantarilla con alto proceso de erosión

Otro aspecto de vital importancia para la conservación del sistema de drenajes es adoptar dimensiones y tipologías de diseños de las alcantarillas que permitan efectuar trabajos de mantenimiento y limpieza en su interior de manera factible, aunque el diseño en base al caudal arroje secciones menores.

Es necesario efectuar un programa de mantenimiento que incluya inspecciones antes y después de periodos lluviosos para comprobar:

- Estado hidráulico-estructural de la obra
- Datos como marcas dejadas por las crecidas
- Acumulación de material y características del mismo
- Depósito de sedimentos
- Socavación de cauce
- Erosión de entrada o salida

Estas inspecciones permitirán actuar con el debido tiempo para proyectar y tomar las medidas correctivas, que podrán incluso requerir la construcción de obras adicionales.



Imagen N° 18 - Alcantarilla transversal con fuerte erosión en taludes de cabecera

2.6.3. Conservación en los badenes

Los materiales comúnmente usados en la construcción de badenes son la piedra y el concreto, pudiendo construirse badenes de piedra acomodada y concreto que formen parte de la superficie de la rasante del camino. Debe contemplarse necesariamente la construcción de obras de protección contra la socavación y dientes de cimentación en la entrada y salida del badén. La ventaja de las estructuras tipo badén es que los trabajos de mantenimiento y limpieza se realizan con mayor eficacia, siendo el riesgo de obstrucción muy bajo en comparación con las alcantarillas.

Otra ventaja es que, en base a la presencia de escalas hidrométricas, los badenes pueden cruzarse con seguridad en periodos de crecientes. Deberá tenerse en cuenta que el nivel y la velocidad del escurrimiento del agua no provoquen situaciones de riesgo para los vehículos de pequeño porte.

2.7 REGLAS PRÁCTICAS ADICIONALES PARA EL DRENAJE DE CAMINOS RURALES

2.7.1 Introducción

Desde el punto de vista del drenaje hidráulico, los aspectos que deben tenerse en cuenta para el diseño y construcción de los caminos son los siguientes:

- Drenaje superficial eficiente de la calzada
- Control del agua en las cunetas longitudinales
- Control del agua y erosión en la entrada y salida de alcantarillas
- Cruces de arroyos
- Selección y diseño adecuado de alcantarillas en función del caudal de diseño, del buen drenaje y de un adecuado acceso para el mantenimiento y limpieza

2.7.2 Control del drenaje superficial de caminos

La superficie del camino necesita configurarse de tal manera que el agua se disperse y desplace fuera de él lo más rápido y frecuentemente posible. De esa manera se eliminan las concentraciones de agua que deterioran el camino. Ayudan sobremanera los peraltes adecuados y las pendientes longitudinales ondulantes.

2.7.3 Control en entradas y salidas de alcantarillas

El agua debe controlarse, encauzarse e intentar disipar su energía a la entrada y salida de las alcantarillas para prevenir los efectos de la erosión, que conlleva a la destrucción de las cabeceras y llega hasta la estructura de la obra básica del camino. Para evitar la socavación regresiva de la cuneta longitudinal se pueden usar en la estructura o cámara de entrada obras de mampostería, concreto o metal para el control del agua de la cuneta y su efectivo encauzamiento.



Imagen N° 19 - Rejas de protección en entrada de alcantarilla

También es importante en la salida del drenaje transversal incorporar disipado-

res de energía para evitar la erosión y la posterior formación de quebradas por debajo de la estructura protegida.

A los efectos del eficaz mantenimiento de las bocas de entrada es conveniente el uso de rejillas, sobre todo en zonas donde exista la posibilidad de escombros, ramas y otros materiales.

Los cruces de arroyos deben ser tan cortos como resulte posible y colocarse de manera perpendicular al cauce. Se pueden utilizar badenes perpendiculares al drenaje natural y con muy poco ancho.



Imagen N° 20 - Cruce de arroyos

2.7.4 Cruces de zonas inundadas y de praderas

Los cruces de caminos en zonas de humedales, mallines y sectores con alto nivel freático y fuentes de manantiales son problemáticos y poco recomendables.

Las medidas de drenaje resultan costosas y pueden tener una eficiencia limitada, por lo que decididamente deben evitarse.

2.8 INTRODUCCIÓN AL DISEÑO

El objetivo principal en el diseño hidráulico de una obra de drenaje transversal al camino es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo sólido que eventualmente transportan los cursos naturales y las cunetas y conducirlos adecuadamente, sin causar daño al camino y a la propiedad adyacente.

En este momento resulta oportuno volver sobre el concepto de hidrología que fue mencionado al principio de este capítulo. La hidrología es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución espacial y temporal del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre y sus propiedades.

Su estudio abarca:

- Las precipitaciones
- La escorrentía
- La humedad del suelo
- La evapotranspiración

Su aplicación es clave en la determinación de los caudales de diseño de las obras de drenaje.

El primer factor a considerar para el citado diseño hidráulico de las obras de drenaje es el tamaño de la cuenca como factor hidrológico, donde el caudal aportado será definido en función de:

- Las condiciones climáticas
- La topografía
- Las condiciones fisiográficas

- El tipo de cobertura vegetal
- El tipo de manejo del suelo (prácticas agrícolas)
- La capacidad de almacenamiento

El segundo factor radica en el estudio de campo asociado al reconocimiento y análisis de todas las cuencas y/o micro cuencas hidrográficas cuyos cursos naturales de drenaje interceptan el camino.

El tercer factor es poder contar con registros a lo largo del mayor tiempo posible con la información hidrológica y/o hidrometeorológica básica.

Un elemento a definir en el diseño es la selección del periodo de retorno (T) que es el tiempo promedio en años en que el valor del caudal pico de una crecienta determinada es igualado o superado. Para la estimación de las frecuencias de las precipitaciones, intensidades o caudales máximos, para diferentes periodos de retorno se aplican modelos probabilísticos con diversas funciones de distribución, como ser:

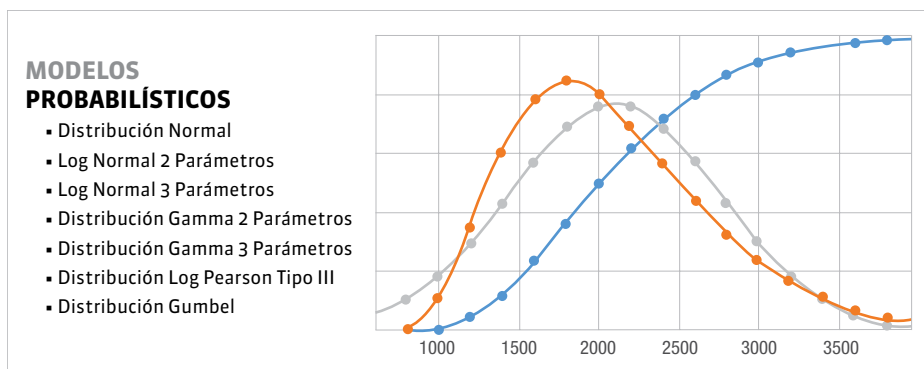


Imagen N° 21 - Modelos Probabilísticos

Otros de los conceptos es la determinación de la tormenta de diseño, que es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (curvas I-D-F) son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar; es decir su probabilidad de ocurrencia o período de retorno.

Otro concepto es el tiempo de concentración, que es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca. También está el histograma de diseño que estudia la distribución en el tiempo de las tormentas observadas y que tiene a su vez una metodología denominada método del bloque alterno.

Así llegamos a la estimación de caudales, que pueden realizarse según alguna de las siguientes metodologías:

- Método IILA
- Método racional
- Método racional modificado
- Hidrograma unitario

Sin embargo, en la práctica, muchas veces se carece de los datos necesarios para abordar la metodología con los cálculos detallados, ya que dichos datos dependen de aportes de muchos años de observaciones. Entonces deberemos recurrir al recorrido de la zona de emplazamiento de la obra de drenaje, observando marcas de crecientes, consultando a los pobladores sobre los daños o marcas que hayan visualizado en el terreno (construcciones, redes eléctricas, etc.) y como el nivel del agua es horizontal, se pueden ir descartando datos erróneos de los mismos pobladores. Así llegaremos a establecer la altura máxima del agua asociada al diseño del tirante hidráulico y finalmente a determinar la sección hidráulica que debe tener la obra de drenaje a proyectar.

2.9 CONCLUSIONES

Para diseñar adecuadamente un camino que asegure poder sacar la producción rural en tiempo y forma debemos analizar cómo están evolucionando las condiciones hidráulicas que definen los caudales.

O sea, cómo evolucionan los siguientes aspectos:

- ✓ Las condiciones ambientales
- ✓ Las condiciones climáticas
- ✓ Las condiciones fisiográficas
- ✓ El tipo de manejo del suelo
- ✓ Las prácticas agrícolas

Si evolucionan hacia una mayor precipitación pluvial, a un menor almacenamiento de agua en el suelo y a una mayor escorrentía ante el aumento de impermeabilización del suelo, todo ello se traducirá en un aumento de los caudales que alimentan las cunetas de desagüe, en adición al agua proveniente de la calzada del camino.

Ello implica la necesidad de proyectar cada vez mayores cunetas, lo que generaría la ampliación de la zona de camino en desmedro de las superficies de las propiedades linderas productivas.

Consecuentemente la obra básica del terraplén del camino se hace cada vez de mayor volumen, lo que requiere la necesidad de la explotación de más yacimientos de suelos aptos para caminos, finalizando en obras con alta inversión inicial y mayores costos de mantenimiento.

Esta es una realidad creciente y muy preocupante que se está observando cada año, vinculada principalmente al cambio climático y a las sucesivas inundaciones.



Capítulo » 3

Conceptos Geométricos

Autor:

Ing. Julio Gago

Capítulo » 3

Conceptos Geométricos

3.1 ESTADO ACTUAL DE UNA GRAN PARTE DE LOS CAMINOS DE TIERRA

En líneas generales los caminos naturales o de tierra presentan las siguientes dificultades:

- Severas erosiones, tanto hídricas como eólicas, que han dejado su rasante por debajo del nivel de los campos adyacentes.
- Bajos niveles de conservación

Estas son las razones principales por las cuales prestan un inadecuado servicio a los usuarios.

El perfil transversal de un camino rural se ilustra en las **imágenes Nº 1 a y b**.

La mayoría de los caminos presentan las características de la **imagen Nº 1b**. Por la falta de cunetas y de perfil adecuado, el agua se deposita en la calzada originándose de esa manera “pantanos” producidos por el tránsito y la permanencia del agua, lo que se traduce en ahuellamientos importantes, transformando el camino en intransitable.

La **imagen Nº 1a**, en cambio, muestra el perfil deseable para la situación de rasante por debajo del terreno natural

(perfil en desmante) con la conformación de cunetas mínimas para el encauzamiento de los caudales provenientes de las precipitaciones pluviales.



Imagen Nº 1a - Perfil transversal deseable de un camino rural



Imagen Nº 1b - Perfil transversal inadecuado de un camino rural



Imagen N° 2 - Debido a la falta de un perfil adecuado se deposita el agua en la calzada



Imagen N° 3 - Falta de un perfil adecuado

3.2 CAMINOS DE TIERRA BIEN CONSERVADOS

Debe trabajarse para lograr paulatinamente un perfil transversal como el de la **Imagen N° 4**. Esto, en general, y debido al estado de erosión que tiene prácticamente toda la red, requiere un plan plurianual de conservación o eventualmente un shock inicial, para poner a la red en el estado deseado.

Es importante destacar que para poder realizar los alteos necesarios, debería contarse con el suficiente volumen de

suelo apto a los costados del camino o relativamente cerca, para minimizar su transporte. Por lo tanto debe evaluarse el ancho que tiene la zona de camino en toda su extensión, ya que los préstamos actuales en general se encuentran agotados debido al alteo con extracción lateral permanente.



Imagen N° 4 - Perfil transversal

3.3. PERFIL TIPO DE UN CAMINO RURAL



Imagen N° 5 - Perfil tipo de un camino rural (en terraplén y desmonte)



Imagen N° 6 - Perfil de camino en desmonte

3.3.1 Zona de camino

Franja de terreno medida en forma horizontal afectado a la construcción del camino. Definida también como zona de derecho de vía.

3.3.2 Calzada

Se denomina calzada a la zona de camino destinada a la circulación del tráfico. La calzada y las banquetas en conjunto, forman el coronamiento del camino (la obra básica).

3.3.3 Trocha o carril

Franja longitudinal con una anchura suficiente para la circulación de una sola fila de vehículos. Los caminos rurales pueden tener uno o dos carriles, pero nunca más. El bombeo o pendiente transversal de la plataforma va desde el centro hacia los bordes exteriores.

3.3.4 Banquinas

Las banquetas se destinan para el estacionamiento provisorio y momentáneo

de los vehículos. Además ejercen funciones de contención lateral de la calzada, evitándose de esta manera su deterioro.

3.3.5 Cunetas

Las cunetas son el sector dentro de la zona de camino destinadas a encauzar el agua hacia los sectores más bajos, bañados o cursos de agua. Permiten el drenaje longitudinal al camino y transversal a él. Son generalmente de sección triangular o trapezoidal, presentan dos taludes, uno interior y otro exterior.

3.4 DIMENSIONES DE LA OBRA BÁSICA

El ancho de los caminos depende de las dimensiones de los vehículos, de su velocidad y de la intensidad del tráfico (categoría de camino). Teniendo en cuenta que la máxima velocidad en caminos bien conservados es de 70 km/h y excepcionalmente de 80 km/h, el ancho de la calzada en caminos principales debe ser elegido de forma tal que permita una separación de un metro entre vehículos que circulen en sentido opuesto. Un ancho de 6 a 8 metros se considera aceptable.

Cuando se trate de caminos de un solo carril, como es el caso de los secundarios y terciarios, que poseen calzadas de cinco y cuatro metros, uno de los sentidos de circulación deberá estacionarse en la banquina para permitir el paso del vehículo opuesto. En este caso como las banquetas son de dos metros a cada lado, uno de los vehículos se estacionará en forma provisoria, para permitir la

circulación del usuario que la transita en dirección opuesta.

Anchos típicos de los elementos de la obra básica:

Clasificación	A.O.B. (m)	Calzada (m)	Banquina (m)	Cuneta (m)
Secundario Provincial	12,0	7,0	2,5	Variable
Primario Municipal	12,0	7,0	2,5	Variable
Secundario Municipal	9,0	5,0	2,0	Variable
Terciario Municipal	8,0	4,0	2,0	Variable

Tabla N° 1 - Clasificación de caminos según el ancho de obra básica

3.5 PENDIENTE TRANSVERSAL DEL CAMINO

El bombeo o pendiente transversal no debe suprimirse en ningún caso, ya que favorece la conservación del camino al facilitar la evacuación del agua de lluvia hacia las cunetas, evitando que penetre en él. En el caso de los caminos de dos carriles, el bombeo se realiza hacia ambos lados del terraplén. En el caso de un solo carril, puede tenerse inclinación única hacia uno de los lados.

La pendiente transversal depende de varios factores, como del tipo de suelo que la constituye, la pluviometría de la zona, el tipo de tráfico, entre otros.

No obstante, existen valores límites que no deben superarse:

- **Mínimo 2,0%** (para facilitar la rápida evacuación del agua)
- **Máximo 5,0%** (para evitar la erosión del suelo y asegurar la circulación de vehículos)

Esto se logra utilizando los equipos disponibles. En este caso solamente se requiere una motoniveladora que efectúe tareas de extracción lateral (conformación de cunetas), trasladando el suelo hacia el centro de la calzada y conformando la misma.



Imagen N° 7 - Conformación de perfil adecuado

3.6 ANCHOS MÍNIMOS DESEABLES DE LA ZONA DE CAMINO

Cuando el camino tiene un ancho entre alambrados de 20 metros o inferior, las tareas descritas en el punto anterior no se pueden llevar a cabo.



Imagen N° 8 - No hay suelo disponible para conformar el terraplén

Por ello el camino tendrá un perfil transversal permanente como el indicado en la **imagen N° 1b**, excepto que se transporte suelo desde otro lugar para su alteo. Esta solución es aceptable para tramos de poca longitud a mejorar (algunos pocos cientos de metros) e impracticable por su costo para longitudes importantes (varios kms).



Imagen N° 9 - No hay suelo disponible para conformar el terraplén

Para resolver esta situación, lo aconsejable es ensanchar la zona de camino llevándola a un ancho mínimo de 30 metros. En ese caso, es posible extraer suelo lateral y conformar el terraplén, según lo indica la siguiente figura:



Imagen N° 10 - Conformación del terraplén con extracción de suelo lateral



Imagen N° 11 - Camino con ancho suficiente



Capítulo » 4

Tareas de Conservación en Caminos Rurales

Autores:

Ing. Julio Gago

Ing. Bernardino Capra

Capítulo » 4

Tareas de Conservación en Caminos Rurales

4.1 INTRODUCCIÓN

Tal como se ha visto en los capítulos de hidrología y diseño geométrico, la erosión vial, o sea, la pérdida del material suelo en la red de caminos, tiene tres causales fundamentales. Dos de ellas, las lluvias y vientos, se conjugan de distinta manera con el tránsito y los efectos sobre el camino dependerán tanto de los tipos de suelo que lo conforman como del grado de humedad de los mismos.

Este grado de humedad dependerá además de la temperatura ambiente y las precipitaciones que ocurran en cada zona.

Los meses de mayores registros pluviométricos son enero, febrero, marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre. Estas intensas precipitaciones constituyen un dato importante a tener en cuenta para el desarrollo del programa de mantenimiento de caminos rurales.

A modo de ejemplo, en el territorio bonaerense del promedio de 800 mm anuales, menos del 4% se escurre al mar. De esta manera, con un poco significativo porcentaje de evaporación, esa precipitación equivale teóricamente a un manto

líquido de unos 60 cm que cubren todo el territorio y queda en su superficie o en la masa del suelo cada año.

La temperatura media mensual es un factor importante a tener en cuenta en la ejecución de los trabajos, ya que las tareas de perfilado o reconstrucción de los caminos están relacionados en forma directa con esta variable por el mantenimiento de la humedad óptima (humedad de trabajo del suelo).

Justamente la humedad sea quizás el factor más asociado a la construcción de los caminos, ya que si el suelo se encuentra con una humedad cercana a la óptima, las distintas tareas que conforman la ejecución de los mantenimientos de la red serán realizadas en forma eficiente.

Los vientos son otros de los factores climatológicos a tener en cuenta, sobre todo en épocas de secas, debido a que actúan degradando y erosionando constantemente la rasante del camino.

De una u otra manera, el agua, en sus diversas formas de actuar, es cuantitativamente el factor fundamental que afecta la transitabilidad del camino de tierra.

4.2 EVALUACIÓN DE LOS TIPOS DE DETERIORO

Entre las clases de deterioro típicos sobre caminos de bajo volumen de tránsito podemos mencionar los siguientes:

- **Irregularidad superficial:** deformaciones que se encuentran en toda la superficie del camino y que generan una mayor rugosidad. Este deterioro influye directamente en el confort del usuario.
- **Deformaciones localizadas:** baches o depresiones cóncavas, generalmente de menos de 1 metro de diámetro. El crecimiento es rápido debido a que sirven de depósito de acumulación de agua, debilitándose los bordes y capas subyacentes.
- **Deformación longitudinal:** ahuellamiento o depresión coincidente con la huella del camino que generalmente es causado por las repeticiones de las cargas. Se produce una deformación permanente de las capas del camino.
- **Corrugaciones u ondulaciones:** son lomadas, crestas y valles con muy poca separación a intervalos regulares, generalmente perpendiculares a la dirección del tráfico. Este tipo de deterioro es causado por el tránsito y erosión eólica, aumentándose en forma progresiva en época de seca.
- **Pérdida del perfil transversal:** cuando se presentan pendientes escasas o nulas hacia las cunetas laterales el agua

se acumula sobre la superficie sin poder drenar adecuadamente. Esta acumulación es altamente perjudicial ya que disminuye la capacidad portante del suelo y aumenta la velocidad de deterioro del camino. También debe mencionarse la falta de continuidad del perfil transversal del camino hacia las cunetas debido a la mala costumbre en el perfilado de “cunetear” sobre el camino. Esto ocasiona que con el tiempo se acumule material entre el camino y la cuneta y el drenaje pase a ser inexistente, ya que se convierte el camino en una cuneta.

- **Pérdida de materiales:** se produce por erosión eólica y pluvial. El tránsito también es un agente externo que actúa desgastando y provocando la volatilidad del suelo, acrecentándose en épocas de secas, sobre todo en suelos muy finos.
- **Drenaje:** la falta de capacidad de las cunetas para evacuar los excedentes hídricos es una de las causas del deterioro acelerado de los caminos, como también la no presencia de alcantarillas laterales (accesos a propiedades) y transversales.

Con una evaluación visual de los parámetros descritos anteriormente podemos identificar los distintos tramos puntuándolos entre 10 (camino en perfectas condiciones) y 0 (caminos prácticamente intransitables). A continuación se expone una tabla con fotografías ilustrativas para cada caso:

Imagen Comparativa	Estado	Deterioro Existente	Índice
	Muy bueno	Irregularidades superficiales: escasas o nulas Deformaciones localizadas: no hay Ahuellamiento o deformación longitudinal: no hay Corrugaciones u ondulaciones: no hay Pérdida del perfil transversal: no hay Pérdida de materiales: no hay o mínima Drenaje: bueno	9 a 10
	Bueno	Irregularidades superficiales: pocas Deformaciones localizadas: bajas Ahuellamiento o deformación longitudinal: apreciables Corrugaciones u ondulaciones: mínimas Pérdida del perfil transversal: escasa Pérdida de materiales: escasa Drenaje: bueno	7 a 8
	Regular	Irregularidades superficiales: moderada Deformaciones localizadas: media Ahuellamiento o deformación longitudinal: importante Corrugaciones u ondulaciones: algunas Pérdida del perfil transversal: moderado Pérdida de materiales: moderado Drenaje: con deficiencias puntuales	4 a 6
	Malo	Irregularidades superficiales: elevadas Deformaciones localizadas: altas Ahuellamiento o deformación longitudinal: excesivo Corrugaciones u ondulaciones: altas Pérdida del perfil transversal: importante Pérdida de materiales: apreciable Drenaje: malo	1 a 3

Tabla N° 1 - Índice de deterioro

4.3 TIPOS DE TAREAS DE MANTENIMIENTO RUTINARIO

De los resultados de la evaluación de estado de la red se podrán definir el tipo, intensidad y periodicidad de las tareas de conservación rutinaria.

En general, podemos mencionar como tareas de conservación a aplicar en el camino a las siguientes:

- **Perfilado sin extracción lateral:** consiste en el perfilado liviano efectuado con motoniveladora, palas de arrastre, rabastos, en el que solo se rectifican irregularidades de superficie del camino reconvirmando la pendiente transversal. No se intervienen taludes ni cunetas. Para realizar estas tareas el camino no debe observarse erosionado ni con demasiada pérdida de material,

en cuyo caso debería realizarse su alteo o reconformación. La utilización de equipos de arrastre sistemáticamente, sin alternar con reconformado, pueden ocasionar severas pérdidas de material.

- **Perfilado con extracción lateral:** consiste en extraer suelo desde taludes y contrataludes. Se busca con esta acción restituir en la medida de lo posible parte de la erosión que ya ha sufrido el camino. Se puede realizar con motoniveladora exclusivamente o utilizarse además rastra y tractor para desmenuzar el suelo. Debe tenerse en cuenta la no incorporación de material vegetal en la zona de rodamiento. Para esto puede ser útil realizar la tarea en dos etapas, una primera de roturación del suelo de préstamos con disco y luego de un período en el que se seca la materia vegetal, su incorporación al terraplén del camino.

- **Reconstrucción con extracción lateral:** Requiere la utilización de otro equipamiento además de motoniveladora, como retroexcavadora, pala cargadora o topadora, ya que es necesario extraer suelo en grandes proporciones siguiendo los mismos lineamientos descritos en el punto anterior.

Para los trabajos de conservación de rutina es necesario establecer estándares mínimos a cumplir, de modo de asegurar a los usuarios la transitabilidad requerida. Una vez definidas las políticas de intervención, y conociendo perfectamente los recursos disponibles (maquinaria vial con

sus respectivos costos de operación, cantidad de personal, número de días probables de intervención) se establecen las frecuencias de mantenimiento.

Para esto se estiman las frecuencias anuales de cada tarea, programando en el tiempo los sectores a intervenir. En promedio para nuestra región, se han medido tiempos de 1.200 horas netas de operación anuales. Esto significa alrededor de 145 días de trabajo al año. El resto de los días del año se consideran improductivos (días de lluvias y días posteriores, feriados, fines de semana, tareas de mantenimiento en los equipos, etc).

Otro dato a tener en cuenta es el rendimiento medio de una motoniveladora para el trabajo que se realice. Puede tomarse de manera tentativa los siguientes valores medios:

- **Repaso liviano:** 120-150 km por mes.
- **Reconformado:** 20-50 km por mes.



Lógicamente el rendimiento de las tareas medido en km/mes dependerá fundamentalmente del ancho de trabajo en cada camino.

(Ver Capítulo 3, Diseño Geométrico)

De esta manera, y con este proceder, se pueden determinar las frecuencias de intervención de cada tarea en función de los recursos disponibles. A su vez, se puede programar la necesidad de equipamiento para aumentar la frecuencia de mantenimiento en toda la red.

En el cuadro siguiente se consideran a modo de ejemplo, cómo podrían clasificarse las tareas anuales de conservación rutinaria para una red de 1000 km de longitud. Para su concreción se deben tener en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, como tránsito, tipos de suelos, condiciones ambientales y tipos de deterioros.

Tipo de Camino	Reconstrucción c/ Extracción Lateral (ID 1 a 3)	Perfilado c/ Extracción Lateral (ID 4 a 6)	Perfilado s/ Extracción Lateral (ID 7 a 8)
Principal	0.5	1	8
Secundario	0.2	1	5
Terciario	0.1	0.5	2

Tabla Nº 2 - Tipos de tarea, índice de estado y cantidad de intervenciones anuales según la categoría de camino



Imagen Nº 1 - Reconstrucción con extracción lateral



Imagen Nº 2 - Perfilado con extracción lateral



Imagen Nº 3 - Perfilado sin extracción lateral

La aplicación de la **tabla Nº 2** nos permite conocer los trabajos de conservación rutinaria que anualmente hay que ejecutar en esta red de caminos para mantenerla en condiciones adecuadas de transitabilidad. Esta intervención plurianual (número de intervenciones anuales) está basado en las diferentes variables, propias o intrínsecas (como el tipo de suelo) y externas (clima, tránsito, etc.) que actúan sobre el camino produciendo distintos tipos deterioros.

Ejemplos de políticas de intervención según el índice de deterioro:

- **Reconstrucción con extracción lateral:**
Cuando el índice de estado del camino es muy bajo (ID 1 a 3, con grandes ahuellamientos, escases de obra básica, pérdida de material, pérdida del perfil transversal y malos drenajes) se deberá realizar este tipo de tarea para reconstruir la obra básica, subir el nivel de la rasante y mejorar el abovedamiento (cota roja y flecha) de la sección transversal. Dicha operación se realiza en tándem con motoniveladoras o con niveladoras de arrastre, ayudado de una rastra de disco para la roturación del suelo. Esta tarea se eje-

cuta generalmente en épocas de secas o con el suelo ligeramente húmedo, cuando el nivel freático ha bajado lo suficiente como para poder hacer la extracción lateral del suelo para su incorporación al camino. En zonas puntuales del camino y cuando el ancho de la obra básica se vea disminuido por la obstrucción de plantaciones o arbustos se deberá efectuar una tarea de limpieza. Esta se podrá ejecutar con retroexcavadora o topadora y camiones para su transporte.

- **Perfilado con extracción lateral:** cuando el índice de estado del camino es regular (4 a 6, con moderadas irregularidades superficiales, pocos ahuellamientos, moderada pérdida del perfil transversal y drenajes tapados) se deberá realizar un perfilado con extracción lateral. Esta tarea permitirá realizar una limpieza de las cunetas y una recuperación del perfil transversal de la calzada sin la necesidad de realizar grandes movimientos de suelos. Se ejecuta con motoniveladora o tractor con niveladoras de arrastre.
- **Perfilado liviano sin extracción lateral:** se trata de una operación de perfilado liviano, que sirve generalmente para eliminar los ahuellamientos y las irregularidades superficiales longitudinales y transversales. La obra básica, cuyo índice de estado está comprendido entre 7 y 8, se mantiene intacta. Esta tarea se realiza con rabasto o niveladora de arrastre traccionada con tractor, de bajo costo operativo. El número de

repasos anuales que deben efectuarse varía en función del tipo de suelo, del tránsito y principalmente de la intensidad y cantidad registrada de precipitaciones. Esta operación generalmente se ejecuta después de las lluvias sobre una superficie de rodamiento ligeramente húmeda, pero nunca en épocas de sequías, puesto que el deterioro que se produce es mayor que lo que se pretende corregir.

Otras tareas complementarias que deben tenerse en cuenta son:

- **Corte de pasto:** al conservar su obra básica con mantenimiento periódico sobre la calzada, en banquetas se requiere solamente de un corte de pasto, sin necesidad de realizar la reconstrucción del camino. Esta tarea debe complementarse también con el desmalezado manual con motoguadañas de las cabezas de alcantarillas.
- **Construcción de terraplenes con extracción lateral:** cuando el ancho de la zona de camino es suficiente, como generalmente ocurren en caminos de la red primaria, se realizan alteos con extracción lateral de suelos para levantar tramos puntuales con posibilidades de anegamientos. Esta operación requiere de retroexcavadoras, palas de arrastre, topadoras, motoniveladoras y equipos de compactación de arrastre o autopropulsados.
- **Construcción de terraplenes con transporte de suelos:** es el caso de los cami-

nos de la red secundaria y terciaria de escaso ancho de zona de camino o donde no hay disponibilidad de suelos laterales para extraer. En estos casos para la construcción del terraplén al suelo se lo deberá transportar de otros lugares. Esta tarea se podrá efectuar con retroexcavadoras o palas cargadoras, camiones volcadores para su transporte, motoniveladoras y equipos de compactación de arrastre o autopropulsados.



Imagen N° 4 - Alteo con extracción lateral



Imagen N° 5 - Alteo con transporte de suelo

- **Desagües:** comprende la limpieza y desobstrucción de cunetas y alcantarillas, reposición de caños y construcción de nuevas alcantarillas tipo caño, tareas que también deben realizarse en forma

plurianual. Es frecuente observar las alcantarillas con sus bocas tapadas por la excesiva erosión o con suelos provenientes del mismo perfilado del camino. Anualmente se debe efectuar su limpieza y desobstrucción, ya que las mismas tareas de conservación rutinaria tienden a taparlas. También se deberán eliminar árboles caídos, malezas y sedimentos que se ubiquen en sitios inmediatos a la entrada o la salida de las alcantarillas, como también en las zonas de los desagües longitudinales o cunetas.

La siguiente fotografía muestra una banquina con buena pendiente transversal, pero una cuneta con mal drenaje longitudinal debido a los taponamientos producidos por las malezas o ramas.



Imagen N° 6 - Desagüe longitudinal obstruido por ramas y malezas

- **Reposición de caños de alcantarillas:** se debe efectuar el reemplazo de los caños ya que por escasez de tapada o por descalce del tubo, como consecuencia de la erosión del suelo, no resisten las cargas pesadas, sobre todo en épocas de cosechas. Debe tenerse en cuenta

el reemplazo por alcantarillas de sección hidráulica equivalente, teniendo en cuenta en todos los casos los lineamientos explicados en el Capítulo 2, Aspectos Básicos de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de los Caminos Rurales.

4.4 RENDIMIENTO Y COSTOS OPERATIVOS

Los factores a tener en cuenta en la determinación de los rendimientos son:

Factores inherentes a la tarea

- Tipo de tarea (reconstrucción, perfilado con o sin extracción, etc.)
- Modelo del equipo (hidráulico o mecánico, ancho de cuchilla, potencia, etc.)
- Velocidad de operación (función de la tarea, suelo, potencia del equipo, etc.)
- Ángulo promedio de corte y acarreo de material (función del suelo)
- Ancho de camino (principal, secundario o terciario)
- Maquinista (habilidad, experiencia, etc.)
- Tiempo de maniobra (lugar de trabajo, espacio de giro)

Factores externos

- Condiciones climatológicas
- Roturas no previstas

Para determinar los costos operativos de los equipos se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1) Factores que dependen del costo de posesión (dependientes del tiempo transcurrido)

- Valor de compra (\$)
- Valor residual (30%)
- Amortización (vida útil prevista, en general los equipos municipales exceden largamente el valor de 10.000 horas de uso, tomado en general como la vida útil para equipos viales).
- Interés
- Seguros
- Patente e impuestos

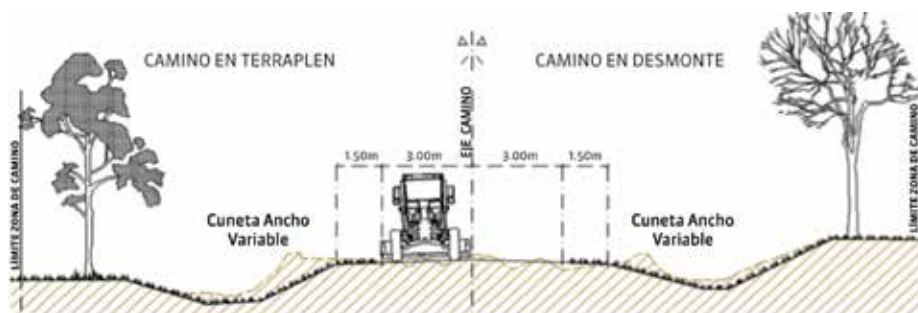


Imagen N° 7 - Tareas de perfilado

2) Factores que dependen del costo de operación (dependientes del recorrido del equipo)

- Reparación y repuesto (mano de obra directa y trabajos de terceros)
- Servicio de mantenimiento exterior (chequeo del estado del equipo, servicio de comunicación y seguimiento)
- Combustible (dependiente de la potencia, tarea y tipo de suelo)
- Servicio de mantenimiento (18, 45, 200, 800 y 1600 horas, lavado, engrase, lubricantes y filtros)
- Cubiertas
- Elemento de desgaste especial (por ejemplo mangueras hidráulicas, cuchillas de corte, punteras, escarificadores, uñas, etc.).

COSTO DE UTILIZACIÓN=
costo de posesión + costo de operación

Gastos generales: para la utilización de los equipos se requiere de la infraestructura de un taller, carretón, camión para traslado, galpón de estacionamiento, lavadero, etc. También se necesita personal de taller, tanto administrativo como de dirección. Estos gastos deben repartirse en la totalidad de los equipos para tener un valor preciso del costo por hora de una máquina y poder considerarlo en la determinación del mismo.

COSTO TOTAL DEL EQUIPO (\$/h)=
costo de utilización + salario del operador + gastos generales

4.5 EQUIPOS Y ORGANIZACIÓN DE LAS TAREAS (división por sección o zona)

Una vez determinado el número de pasadas anuales y establecido el rendimiento que demanda la tarea sobre cada categoría de camino se puede calcular el número óptimo de motoniveladoras y perfiladoras para llevar a cabo el mantenimiento rutinario establecido en el programa plurianual.

4.6 TAREAS MEJORATIVAS

Son todos aquellos trabajos que exceden a los de conservación rutinaria y que apuntan a lograr que los caminos tengan tránsito permanente bajo cualquier condición climática imperante.

- **Construcción de nuevas alcantarillas:** en muchos casos los caminos son transversales al escurrimiento natural de las aguas. Por ello deben tener un número suficiente de alcantarillas que permitan un escurrimiento normal, sin la acumulación de agua que luego provoca los cortes de los terraplenes.
- **Estabilizado de los caminos principales:** una vez realizadas las tareas de alto y reacondicionamiento del drenaje del camino, verificando las cotas necesarias para que no se produzcan cortes, se puede llevar a cabo la ejecución de una capa estabilizada en su superficie tal como se describe en el **Capítulo 5**.



Capítulo » 5

Clasificación de los Suelos y su Estabilización

Autores:

Ing. Norberto Cerutti

Ing. Diego Calo

MMO Leonardo Ossona

Lic. Mariano Barone

Ing. Andrés Poletti

Ing. Jorge Santos

Capítulo » 5

Clasificación de los Suelos y su Estabilización

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a analizar el suelo, material importante desde el punto de vista de la vinculación entre la tranquera y el acopio, el mercado o el puerto.

La relevancia de este material es fundamental ya que en cualquier estructura vial representa más del 90% del total. Además del apoyo, en todas las capas está presente, ya sea solo, corregido, modificado, estabilizado o como matrix granular de las mezclas superiores.

Es posible que quienes trabajan diariamente con el suelo conozcan perfectamente el material con el que se enfrentan, pero el objetivo de este documento es ayudarlos a que lo valoren un poco más técnicamente para poder aprovechar su uso de la mejor manera posible, desde el paso obligado de la salida de su casa o de su establecimiento hasta alcanzar el tramo con pavimento más cercano de la red municipal o provincial.

5.2 COLOR DE LOS SUELOS

Empezaremos por quitarle importancia al color. Tradicionalmente se piensa que los suelos más claros son mejores, pero el co-

lor sólo nos orienta acerca de algunos minerales o sustancias presentes en el suelo. Ello nos puede alertar sobre ventajas o inconvenientes que pueden presentarse solo a título informativo.

Si es negro seguramente contiene suficiente materia orgánica como para no utilizarlo y sanearlo. Que un suelo sea muy claro no significa que sea salino, ni uno verdoso que sea expansivo o uno marrón claro que sea colapsible. Por sí solo el color no informa demasiado.

5.3 ESTRUCTURA Y TAMAÑO DE LOS SUELOS

La estructura que presenta el suelo se debe a la forma y tamaño de sus partículas. De acuerdo a éstas se manifiesta la preponderancia de las fuerzas actuantes entre los cristales. Debe tratarse de lograr la mejor estructura posible, aun cuando se trate de suelos finos. Las estructuras más estables son las que se forman con una mezcla de tamaños equilibrada, desde los más gruesos hasta los más finos.

El suelo es un sedimento que resulta de los cambios que se producen por erosión de las rocas emergentes a la atmósfera. Los suelos gruesos (gravas y arenas) son

partículas de roca de tamaño pequeño que solo se han producido por transformaciones mecánicas. Cuando esas partículas, con la presencia de humedad, sufren además transformaciones químicas, se convierten en la parte fina de los suelos (limos, arcillas y coloides).

Producto de erosión mecánica

- Gravas
- Arenas

Producto de erosión combinada (mecánica + química)

- Limos
- Arcillas
- Coloides

Quitando las partículas superiores al tamaño de una mano, que pueden destinarse para otros usos, consideramos como suelo a todas las mezclas con partículas menores a 7,5 cm con la siguiente separación:

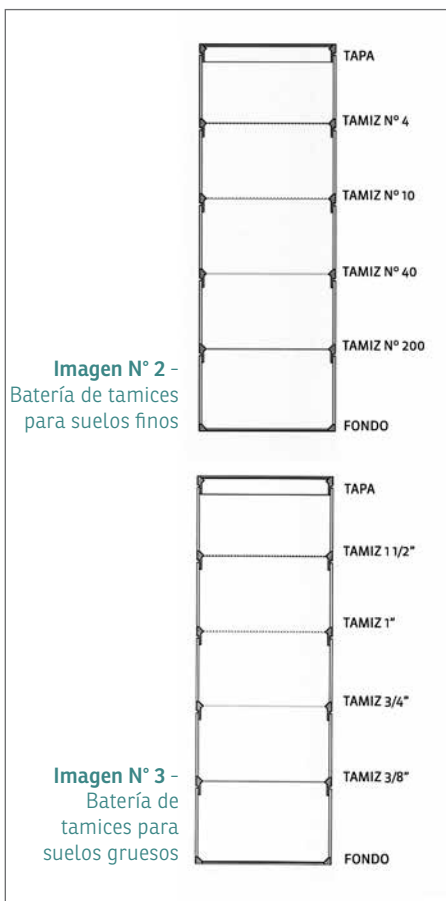
Cantos		75 mm
Gravas Gruesas	75 mm	25 mm
Gravas Medianas	25 mm	10 mm
Gravas Finas	10 mm	2 mm
Arenas Gruesas	2 mm	0.42 mm
Arenas Medianas	0.42 mm	0.177 mm
Arenas Finas	0.177 mm	0.050 mm
Limos	0.050 mm	0.005 mm
Arcillas	0.005 mm	0.001 mm
Coloides	0.001 mm	

Tabla N° 1 - Tipos de suelo

Para hacer esta separación de tamaños se necesita de cribas o tamices y aplicar las Normas IRAM 1505/1677/1678/10507.

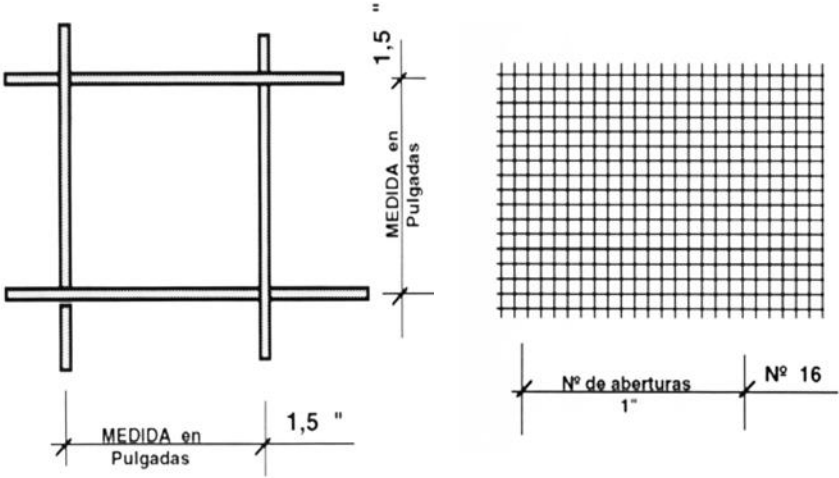


Imagen N° 1 - Tipos de tamiz



**Imagen N° 2 -
Batería de tamices
para suelos finos**

**Imagen N° 3 -
Batería de
tamices para
suelos gruesos**



Tamiz IRAM	102,0 mm	4"
Tamiz IRAM	76,0 mm	3"
Tamiz IRAM	51,0 mm	2"
Tamiz IRAM	38,0 mm	1 ½ "
Tamiz IRAM	25,0 mm	1 "
Tamiz IRAM	19,0 mm	3/4 "
Tamiz IRAM	12,7 mm	1/2 "
Tamiz IRAM	9,5 mm	3/8"
Tamiz IRAM	6,4 mm	1/4"

Tamiz IRAM	4,8 mm	Nº 4
Tamiz IRAM	2,4 mm	Nº 8
Tamiz IRAM	2,0 mm	Nº 10
Tamiz IRAM	1,6 mm	Nº 12
Tamiz IRAM	1,2 mm	Nº 16
Tamiz IRAM	840,0 µ	Nº 20
Tamiz IRAM	590,0 µ	Nº 30
Tamiz IRAM	420,0 µ	Nº 40
Tamiz IRAM	297,0 µ	Nº 50
Tamiz IRAM	250,0 µ	Nº 60
Tamiz IRAM	177,0 µ	Nº 80
Tamiz IRAM	149,0 µ	Nº 100
Tamiz IRAM	105,0 µ	Nº 140
Tamiz IRAM	74,0 µ	Nº 200
Tamiz IRAM	50,0 µ	Nº 270

Imagen Nº 4 - Medidas de tamices según normas IRAM

5.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS

Los suelos pueden identificarse y nombrarse de acuerdo a algunas de sus características. Para esto se deben conocer las particularidades que presenta la fracción que pasa el tamiz de 0,42 mm cuando se la mezcla con agua.

Esto nos introduce al concepto de humedad, que en este material cobra una importancia fundamental porque el mismo suelo con distintas cantidades de agua se comporta de manera muy diferente.

Cuando se habla de humedad se está indicando el peso de agua que se agrega al suelo seco, secado al sol o en estufa a 105°C, normalmente expresado como porcentaje respecto del suelo seco, que se resume en esta relación:

$$H\% = \frac{(\text{Peso de agua} / \text{Peso de suelo seco}) \times 100}{\text{[HUMEDAD]}}$$

En función de esto, para darle un nombre al suelo, es necesario determinar con qué cantidad de agua pasa de comportarse como un semi sólido (deja de resquebrajarse por falta de humedad) para comportarse como un plástico (amasado se queda con la forma que se le da) -el límite plástico o LP- y con qué cantidad pasa de comportarse como un material plástico para comportarse como un semilíquido (se escurre por agitación y se nivela como un líquido si se lo deja en reposo) -el límite líquido o LL. Las humedades correspondientes se

determinan con los ensayos descriptos en las Normas IRAM 10501 y 10502.

Con la diferencia entre las humedades para límite líquido y límite plástico se determina el índice de plasticidad (IP).



Imagen N° 5 - Determinación de límite plástico (H_{LP}) y límite líquido (H_{LL})

Con los valores de las humedades correspondientes al límite líquido y al índice de plasticidad y los porcentajes pasantes por los tamices N° 10, N° 40 y N° 200 se busca en la tabla siguiente, de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha hasta encontrar el primer casillero donde el suelo analizado cumple con todas las condiciones mencionadas. De acuerdo a esto se clasifica el suelo según los grupos y subgrupos que figuran en la

tabla. Como se puede observar, con analizar el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200 se tiene la primera aproximación que permite dilucidar si se trata de materiales granulares o materiales limo-arcillosos.

CLASIFICACIÓN GENERAL	SUELOS GRANULARES							SUELOS ARCILLO-LIMOSOS				
	Pasa Tamiz IRAM 75 micrones (Nº200) hasta 35%							Pasa Tamiz IRAM 75 micrones (Nº200) MÁS de 35%				
Clasificación por Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Ensayo de tamizado por vía húmeda. Porcentaje que pasa por:												
Tamiz IRAM de 2 mm (Nº10)	max 50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tamiz IRAM de 425 micrones (Nº40)	max 30	max 50	max 51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tamiz IRAM de 425 micrones (Nº200)	max 15	max 25	max 10	max 35	max 35	max 35	max 35	min 36	min 36	min 36	min 36	min 36
Límite Líquido	-	-	No Plástico	max 40	min 41	max 40	min 41	max 40	min 41	max 40	min 41	min 41
Índice de Plasticidad	max 6			max 10	max 10	min 11	min 11	max 10	max 10	min 11	< LL-30	> LL-30
TIPO DE MATERIAL	Gravas y Arenas		Arenas Finas	Gravas y Arenas Limo Arcillosas				Limos		Arcillas		
COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE	Excelente a Bueno							Regular a Pobre				

Tabla N° 2 - Clasificación del suelo

Una vez que se ha identificado el suelo que se está analizado, puede verse en el casillero inferior cuáles son los componentes principales. Para conocer qué comportamiento puede esperarse de cada uno la tabla incluye una breve descripción.

Cuando ya se ha establecido a cuál de los doce grupos pertenece el material en clasificación, se debe encontrar el índice de grupo (IG), que será el número que completa la identificación del material, indicando su comportamiento resistente en forma cualitativa.

Todo el proceso se encuentra descrito en las Normas IRAM 10509 y 10521, además de un método de clasificación utilizado en otros ámbitos de la ingeniería (el sistema unificado de clasificación de suelos, conocido por sus siglas S. U. C. S.).

Suelos A - 1

Son suelos gruesos, graduados, con escasos finos de baja plasticidad ($IP \leq 6$). Los A-1-a son mejor graduados y más gruesos que los A-1-b, que pueden no tener finos y sus tamaños no ser mayores que los correspondientes a arena gruesa. Son de sobresaliente comportamiento en cualquier posición del paquete estructural. Los estabilizados granulares de bases y carpetas de rodamiento de calzadas enripiadas se clasifican como A-1-a. Los A-1-b son sub-bases de excelente resultado y en algunos casos bases más que aceptables.

Necesitan poca humedad para lograr una adecuada compactación, en esas condiciones tienen muy buen drenaje, estabili-

dad alta y duradera, sin variaciones volumétricas que la alteren.

Suelos A - 3

Son suelos granulares finos, ubicados en esa posición en la tabla para respetar el esquema de clasificación (más de 50 % pasa tamiz N° 40, menos de 10 % pasa tamiz N° 200 y son no plásticos).

De granulometría uniforme, generalmente no tienen material grueso en demasía y es normal la ausencia de ligantes finos. El ejemplo habitual son las arenas finas de playa y las de médanos transportadas por acción del viento.

Confinados constituyen buenas subrasantes y capas intermedias aceptables.

Necesitan de humedades medias para lograr estabilizarlas mecánicamente. No son propensos a los cambios volumétricos. Secos y sin confinar pueden ser muy poco estables.

Suelos A - 2

Son suelos granulares comúnmente mal graduados (pasa el tamiz N° 200 $> 25\%$). Se los subdivide en cuatro grupos según que los finos del pasa tamiz N° 40, tengan características de A-4; de A-5; de A-6; o de A-7. En ocasiones, cuando el porcentaje de material fino es restringido, para algunas aplicaciones puede competir con ventaja con los suelos A-1-b por presentar cohesiones favorables.

Los suelos A-2-4 compactados con humedades y energías convenientes confor-

man estructuras con buen drenaje, constituyendo bases y sub-bases de mejores resultados que los A-1-b.

Son excelentes subrasantes, no experimentan cambios volumétricos y adquieren densidades que le confieren estabildades permanentes de importancia. Debe cuidarse su posición respecto de las napas en lugares de bajas temperaturas, porque pueden saturarse por capilaridad y dañarse por las heladas.

Los suelos A-2-5 son muy similares a los anteriores en inconvenientes y ventajas, pero difieren cuando el porcentaje de finos es importante ya que el tipo de limos puede imponerle al conjunto características elásticas que lo tornan difícil de compactar y, en consecuencia, de estructurarlo convenientemente. Secos pueden estar aceptablemente compactos y con humedad apenas en exceso perder considerable estabilidad.

Los suelos A-2-6 y A-2-7 comparten cualidades y defectos. Cuando las cantidades de finos es razonable: bajas para índices de plasticidad altos y medias para índices de plasticidad no tan altos; pueden constituir materiales de notable características para cualquier posición en los paquetes estructurales o en los cuerpos de terraplenes de gran altura.

Si en cambio hay un desbalance entre cantidades y plasticidades de los finos, pueden resultar difíciles de compactar, con problemas de drenaje, expansivos, saturarse por capilaridad y ser dañados

por las heladas, perder estabilidad por defecto o por exceso de humedad.

Suelos A - 4

Como suelos finos son sobresalientes. Predomina la fracción limosa (entre $50\mu\text{m}$ y $10\mu\text{m}$), manifiesta por $LL < 40\%$ e $IP < 10\%$.

Son magníficas subrasantes, cuando cuentan con algo de gruesos pueden ser utilizados como sub-bases. En general se los busca como suelo seleccionado para capa de recubrimiento o para estabilizar con cal, cemento o asfalto.

Con humedades medias se los compacta con facilidad por su carácter friable, aceptando energías importantes. Se conforman en estructuras muy estables y no son expansivos ni elásticos. Los mejores suelos calcáreos son A - 4.

Son proclives a formar poros de diámetro capilar, lo que los deja sujetos a la acción destructora de las heladas.

Suelos A - 5

Se diferencian de los anteriores en que son elásticos; devuelven la mayor parte de la energía que se le entrega. Esta cualidad negativa se debe a que entre las partículas prismáticas y tronco piramidal de la fracción limosa (entre $50\mu\text{m}$ y $10\mu\text{m}$), tienen intercaladas diatomeas y micas de forma laminar, que actúan a modo de resortes planos, dotándolos de altos límites plásticos. El atributo de LP altos de los suelos elásticos no hace cierta la recíproca. Ante la imposibilidad de entregarles trabajo de compactación son francamente

inestables, independientemente de la humedad aún secos rebotan las cargas. Además son propensos en extremo a levantamiento por acción de las heladas.

Entre los limosos se encuentran los tan temidos suelos colapsibles, que pierden en forma intempestiva la estabilidad. El fenómeno se presenta ante una variación de la humedad. En los suelos A-4 por defecto: húmedos son estables y resistentes, pero por debajo de cierta humedad pierden abruptamente toda resistencia. En los suelos A-5 por exceso: se presentan con resistencia normal si están secos, pero el agua les hace perder totalmente la resistencia, desmoronándose en forma brusca.

Se manifiesta en estos suelos por la particular conformación de estructura que tienen los limos (con poros de pequeño diámetro y pocos cationes hidrófilos que retengan un aceptable espesor de agua absorbida) la tensión superficial que genera el agua intersticial. En algunos casos separa las partículas anulando los débiles lazos electrostáticos y en otros los aproxima tanto que la película no dispone de espesor suficiente para generar la cohesión que retenga las partículas.

Son de relativamente fácil identificación. Normalmente son no plásticos o de muy baja plasticidad y de textura harinosa. Con un poco de experiencia el tacto los delata. De todas maneras conviene probar que lo son.

Suelos A - 6

Son suelos arcillosos, que presentan las

características propias de esta fracción. Pueden ser expansivos, tanto más cuanto más decline la influencia de las fracciones limosas y arenosas que los componen.

Controlando humedad y energía de compactación (y en casos extremos corregidos física o químicamente) reemplazan a los suelos A-4 como suelos seleccionados de recubrimiento cuando no se vislumbra la existencia de estos en condiciones económicas aceptables.

Los cercanos a la frontera con el A-4 son buenas subrasantes sin necesidad de corrección. No debe usárselos como sub-bases sin estabilizarlos químicamente.

Suelos A - 7

Se diferencian por la cantidad y carácter de la fracción limosa que le confieren sus propiedades distintivas. Se dividen en dos sub-grupos. Los A-7-5 de altos límites plásticos debidos a la influencia de la fracción limosa (entre $50\mu\text{m}$ y $10\mu\text{m}$) que contiene micas y/o diatomeas son elásticos, además de severamente expansivos.

El otro sub-grupo son los A-7-6, donde la fracción predominante está por debajo de $10\mu\text{m}$. El porcentaje de la que está por encima es de poca magnitud y son limos normales.

Cuando deben constituirse en subrasantes es necesario controlar las expansiones, inhibiendo sus cationes con óxido de calcio, normalmente adicionando cal aérea. De esto se desprende que son preferibles los A-7-6 a los A-7-5 porque no hay forma

de controlar la elasticidad. Por este motivo se tratan de evitar, saneándolos cuando es posible. Los A-7-6 pueden ser usados en el cuerpo de los terraplenes, hasta 1,00 m. por debajo de la rasante.

Para estabilizarlos mecánicamente necesitan de humedades altas, usando muy bajas energías. Aún así se lo logra parcialmente y con bastante dificultad.

No pueden ser utilizados en capa estructural alguna y requieren ser separados de la sub-base por una capa de recubrimiento.

5.5 COMPACTACIÓN

Hasta el momento describimos el material básico con el cual se van a enfrentar a la hora de abrir un camino, adecuar el perfil transversal del existente, elevar la cota de rasante para alejar la estructura del pelo de agua estimado o bien mejorar las capas de base y rodamiento adoptadas para el tramo en cuestión.

Para obtener lo mejor que el material suelo puede dar en cualquier posición que se lo ubique en la estructura deben modificarse sus propiedades naturales mediante el trabajo mecánico, que es llamado en forma general compactación. Este trabajo logrará convertir al suelo, fácilmente alterable por los agentes atmosféricos, en un elemento constructivo confiable y seguro.

La diferencia entre la estructura que forma el suelo suelto y la que se logra una vez que se adecúa en forma conveniente

la humedad y se lo estabiliza por pasadas de los equipos de compactación es de tal importancia que pasa de marcarse la pasada de un pie a soportar el paso de un camión sin marcarse.

Para lograr esto tiene que pensarse que cada capa se puede densificar siempre que el piso o la superficie donde se apoya el suelo sea capaz de recibir la energía y producir el rebote necesario para poder compactar convenientemente.

De esta forma resulta importante el contenido de agua que se encuentre presente al momento de iniciar la compactación. En la medida que sea posible acceder al respaldo técnico mínimo se debe determinar la humedad óptima y peso de la unidad de volumen de suelo máximo ($P.U.V.S_{max}$) o densidad, mediante el proceso descrito en la Norma IRAM 10511 que está basada en las originales de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) T-99 y T-180.

Estos dos valores caracterizan al suelo desde el punto de vista de su posibilidad de adecuación de la estructura granular (aún de los suelos limo-arcillosos) a la mejor situación por densificación, mediante una cierta cantidad de energía que fácilmente es comparable con la que brindan los equipos de compactación (aún cuando se trate de dos formas diferentes de entrega de energía). Para un mismo suelo con estos dos parámetros como base y la posibilidad de determinar la densificación obtenida con el proceso descrito en

las Normas IRAM 10526 y 10536 para una cantidad creciente de pasadas, se puede trazar una curva de compactación que puede ayudarlos sin mediciones posteriores (salvo esporádicas por aparición de problemas puntuales).



Imagen N° 6 - Compactador mecánico, moldes y compactadores manuales



Imagen N° 7 - Volumenómetro de membrana



Imagen N° 8 - Volumenómetro de cono de arena

Una determinación rápida para saber si la humedad que tiene el suelo es la conveniente para iniciar la compactación consiste en tomar un puñado del suelo y apretarlo entre las manos formando una especie de “papa”. Si las manos quedan muy húmedas tiene exceso de agua, si las manos quedan secas y con polvo tienen defecto de agua, si se parte al medio y queda cada parte bien formada tiene una humedad cercana a la óptima. Este proceso, aunque un poco rústico, permite lograr una capa bastante cercana a la mejor que puede obtenerse sin el respaldo técnico periódico y solo en alguna ocasión, para usar como referencia.

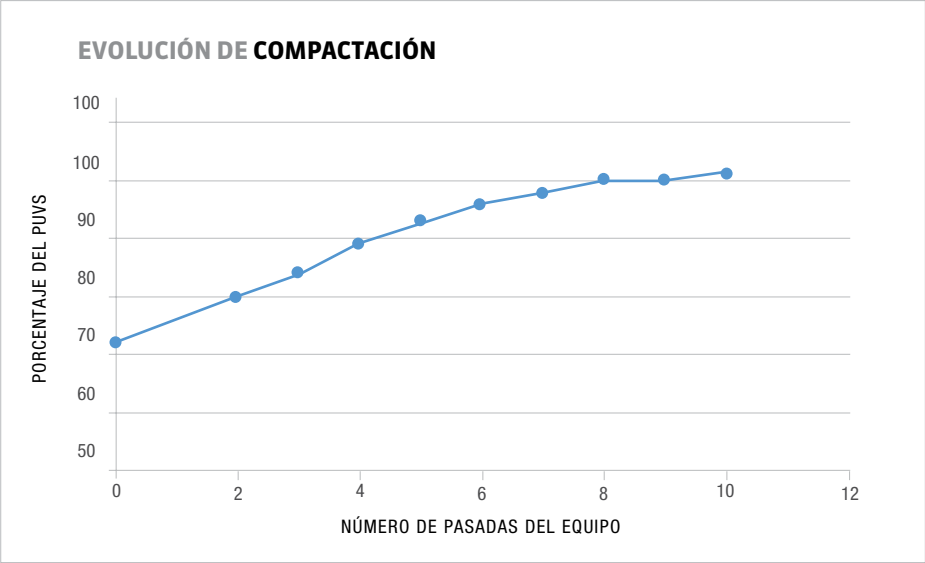


Imagen N° 9 - Evolución de compactación

5.6 ELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMPACTACIÓN

Como criterio general, para lograr el mejor rendimiento de los equipos compactadores, es imprescindible una correcta distribución de la humedad tanto en la superficie como en el espesor. Por este motivo no se debe pensar en un trabajo de compactación sin un tanque de capacidad conveniente. Puede ser de tiro o autopropulsado, con barra de gravedad o a presión.

A los suelos cohesivos conviene regarlos entre 4 y 24 horas antes del comienzo de los trabajos de densificación. A mayor índice de plasticidad, mayor tiempo para lograr homogeneidad en el espesor.

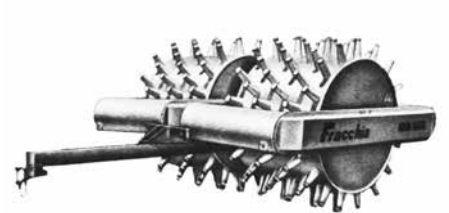


Imagen N° 10 - Pata de cabra de arrastre



Imagen N° 11 - Pata de cabra autopropulsado

Estos materiales se compactan con rodillos con salientes. El tradicional “pata de cabra” y el tipo “clava” (igual al anterior, pero de planta simétrica) son los que tienen mejor rendimiento para densificar suelos arcillosos, ya que producen “amasado”.



Imagen N° 12 - Clava autopropulsado

Para suelos menos plásticos, como limos y arcillas livianas, se logran buenos rendimientos con los de tipo “espiga” o los “tronco-piramidales”.

Los rodillos de este tipo producen la compactación de abajo hacia arriba, apoyándose en el espesor ya compactado. Por esta razón la longitud de la saliente debe ser 5 cm. mayor que el espesor terminado de la capa que compacta.

La efectividad depende de la presión que ejercen los salientes sobre el suelo. Resulta más importante el número de contactos que el peso del equipo.

Los equipos modernos han incorporado con éxito la vibración, que con adecuada elección de amplitud y frecuencia

logra mejorar considerablemente los rendimientos. Esto se produce por un efecto cinemático sobre la fase fluida y no tanto por el acomodamiento de las partículas sólidas.



Imagen N° 13 - Liso de arrastre

Los suelos granulares se compactan exclusivamente con rodillos lisos vibrantes, regulando la frecuencia y la amplitud de onda de acuerdo al tamaño máximo de las partículas y al espesor de la capa a densificar.



Imagen N° 14 - Liso autopropulsado

En los equipos de tres ruedas la efectividad depende más del peso que de la vibración, mientras que en los de dos ruedas es a la inversa, depende más de la vibración que del peso.

Estos equipos compactan de arriba hacia abajo, por acomodamiento de las partículas sólidas. Las humedades, si bien son bajas, tienen la misma importancia que para cualquier otro tipo de suelo.

Los rodillos neumáticos múltiples se utilizan para sellar las capas compactadas. Sólo algunas arenas limpias, de granulometrías uniformes y confinadas pueden ser densificadas por este tipo de rodillos con un razonable rendimiento. La compactación obtenida depende directamente de la presión de inflado.



Imagen N° 15 – Neumático de arrastre

Para trabajos menores o donde no es posible hacerlo con rodillos, se pueden utilizar las placas vibradoras y los pisones de impacto, que son de bajo rendimiento pero logran igual efectividad si se elige de forma conveniente el espesor de capa y la humedad de compactación.



Imagen N° 16 – Pisones, placas y rodillos vibratorios

Una recomendación última sobre la ejecución de alteos y terraplenados: se debe tener en cuenta que siempre deben utilizarse capas que ocupen todo el ancho, sean tres capas o treinta capas. Si el trabajo se realiza en anchos parciales y luego se completa, se generará una superficie de rotura que en algún momento se va a manifestar.

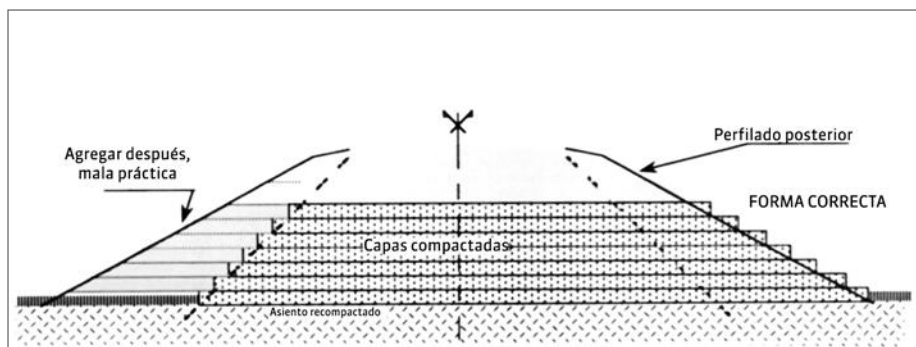


Imagen N° 17 – Ejecución de alteos y terraplenados

Respecto de la relación entre el suelo y el agua -tanto la que se encuentra en napas profundas como las de escurrimiento superficial- para limitar las depredaciones que puede generar se deben conseguir las distancias indicadas.

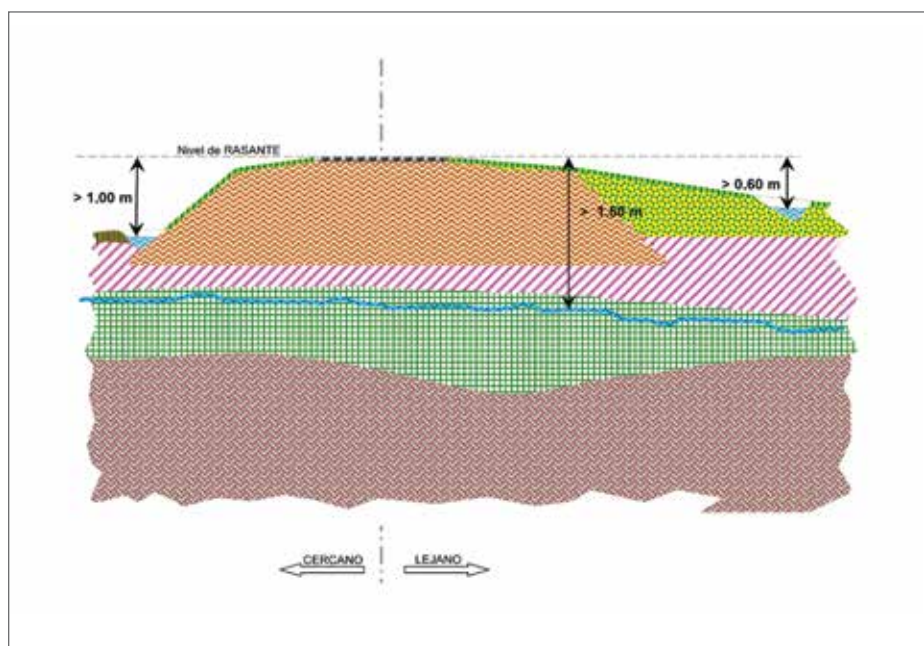


Imagen N° 18 – Estructura con escurrimiento a cielo abierto

5.7 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La obra de alteo de un camino natural es una verdadera estructura que, para ser estable y mantenerse en el tiempo, tiene que presentar algunas características que van a depender del tipo de suelo colocado. De esta manera, se necesitará mayor cantidad de suelo a medida que este tenga peores características, ya que los faldones deben extenderse más. En los mejores suelos, la pendiente del talud de un terraplén podrá ser desde 1,25 metros horizontal por cada metro en vertical, mientras que en los peores suelos serán de 4,5 metros horizontal por cada metro en vertical. Todo esto vale desde el punto de vista de las características del material y no de consideraciones de diseño o seguridad vial.

Es importante destacar que en muchas partes del país los materiales de buena calidad para la construcción de caminos no están disponibles. Los altos costos de transportar el material adecuado han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles.



En muchas ocasiones las resistencias requeridas para asegurar la transitabilidad pueden obtenerse de un material local "marginal" con la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores a un costo relativamente bajo.

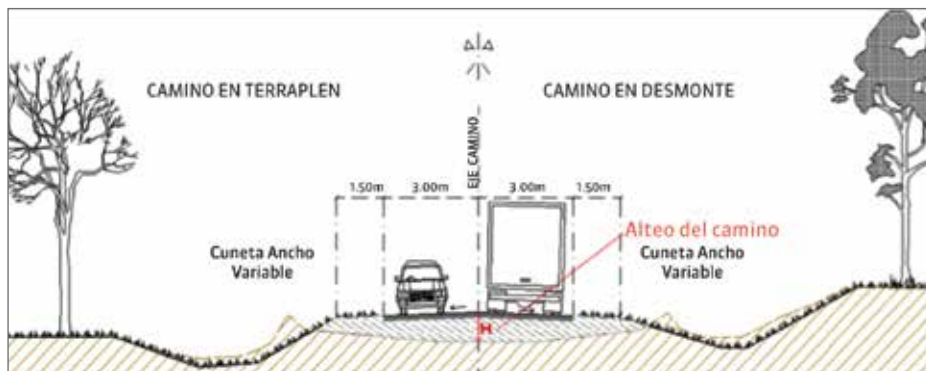


Imagen N° 19 – Tareas de reconformado y estabilización

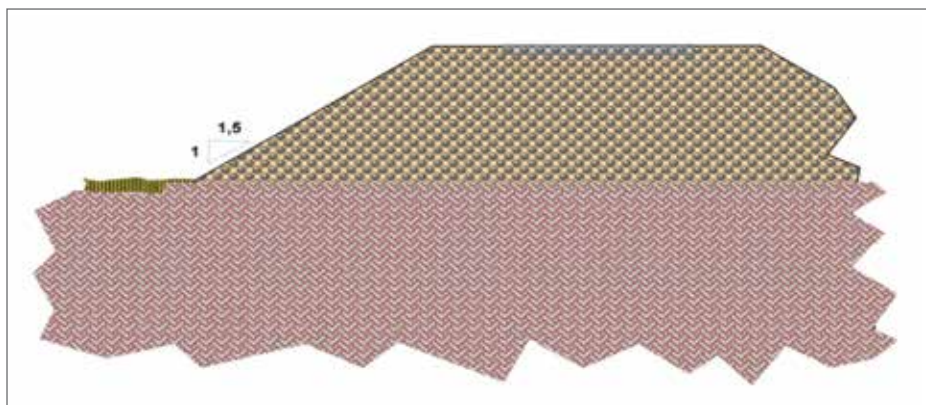


Imagen N° 20 – Reconformado con mejores suelos

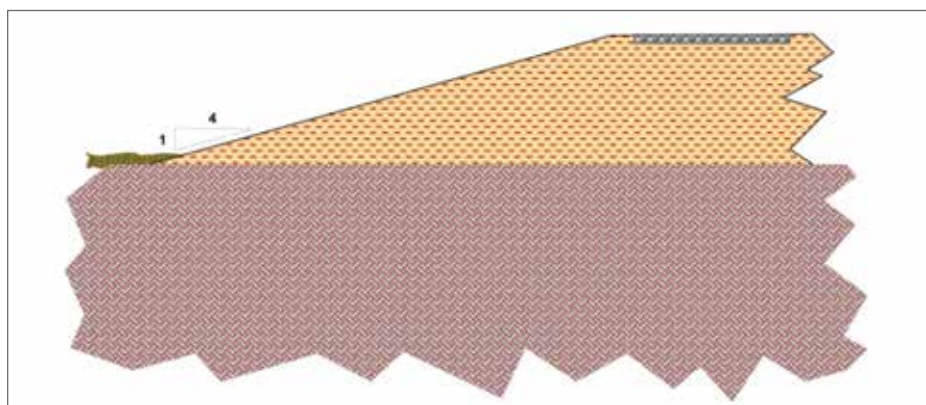


Imagen N° 21 – Reconformado con peores suelos

Estabilizar un suelo es conferirle características que naturalmente no tiene, modificando algunas de sus propiedades naturales para poder utilizarlo en reemplazo de otros materiales escasos o demasiado costosos.

Las condiciones mínimas que deben cumplir los agentes estabilizantes son: ser asequibles en grandes cantidades y en calidad normal, no presentar problemas de

transporte, no ser tóxicos, tener acción duradera -avalada por experiencias- y lograr un material durable y que mantenga la estabilidad a lo largo del tiempo.

Con la estabilización se intenta modificar por lo menos alguna de las principales propiedades necesarias para conseguir que el material se comporte como una estructura:

- Resistencia mecánica
- Estabilidad volumétrica
- Compresibilidad
- Durabilidad
- Permeabilidad

La estabilización puede ser:

- Mecánica
- Física
- Química
- Físico química

A continuación se detallan algunas condiciones particulares de cada una de las estabilizaciones. Para ampliar estos conceptos sugerimos consultar desarrollos más amplios en la bibliografía de referencia.

5.7.1 Estabilización mecánica

Este tipo de estabilización ya se mencionó en este capítulo al describir la compactación, que es sin dudas la propiedad más importante porque además de lograr por sí misma ciertas mejoras acompaña siempre a las demás. Por ejemplo, si se compacta el suelo con 2% más de humedad que la humedad óptima se mejora la impermeabilidad, pero el acercamiento de partículas que provoca mejora considerablemente las otras cuatro propiedades.

Acorde al equipo disponible, se humedece el suelo teniendo en cuenta que al porcentaje indicado por los ensayos se le debe adicionar los correspondientes a las pérdidas durante el laboreo (mezclado, evaporación, etc.). La densificación se debe efectuar con el equipo de compactación adecuado al tipo de material. Si se dispone de un equipo pequeño que transmite poca

energía es conveniente compactar con más humedad que la humedad óptima.

5.7.2 Estabilización física

Se recurre a este tipo de estabilización cuando es necesario adecuar las características físicas (granulometría y plasticidad) para lograr mejorar la resistencia mecánica, aunque también mejora considerablemente la estabilidad volumétrica y la compresibilidad. Con una acertada corrección, haciendo que el agua en los poros pueda desplazarse con mayor facilidad, se logra un adecuado drenaje.

En este tipo de mejora se busca corregir la composición de los granos y lograr que la parte fina del suelo presente condiciones aceptables, de manera que la mezcla resultante forme una capa compactable y estable.

Los suelos disponibles pueden ser:

- Suelo granular grueso
- Suelo granular fino
- Suelo fino limo-arcilloso

Los materiales correctores deben elegirse según la necesidad para lograr el mejoramiento buscado.

Las mezclas deben reunir condiciones granulométricas dentro de ciertos límites, que varían según el destino y condiciones de plasticidad de la fracción fina (material que pasa el tamiz N° 40), acordes a la posición y el régimen de precipitaciones en que se va a utilizar, con valores de límite líquido menor o igual a 25% y cumpliendo además con las condiciones de plasticidad según el nivel de capa correspondiente.

GRANULOMETRÍAS		LÍMITE DE ESPECIFICACIÓN							
		Estabilizado GRUESO		Estabilizado STANDARD		Estabilizado SEMIFINO		Estabilizado FINO	
Pasa Tamiz de 1 1/2"	%	100,0	100,0	-	-	-	-	-	-
Pasa Tamiz de 1"	%	85,0	100,0	100,0	100,0	-	-	-	-
Pasa Tamiz de 3/4"	%	65,0	95,0	80,0	100,0	-	-	-	-
Pasa Tamiz de 1/2"	%	30,0	85,0	-	-	-	-	-	-
Pasa Tamiz de 3/8"	%	-	-	50,0	90,0	100,0	100,0	-	-
Pasa Tamiz N° 4	%	25,0	70,0	40,0	75,0	75,0	95,0	-	-
Pasa Tamiz N° 10	%	20,0	50,0	30,0	55,0	55,0	85,0	100,0	100,0
Pasa Tamiz N° 40	%	15,0	30,0	20,0	35,0	35,0	60,0	50,0	70,0
Pasa Tamiz N° 100	%	-	-	-	-	25,0	45,0	30,0	45,0
Pasa Tamiz N° 200	%	7,0	15,0	10,0	20,0	20,0	35,0	20,0	35,0

Tabla N° 3 – Límite de especificación según granulometría y tipo de suelo

ZONA	LLUVIA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
	mm/año	base	rodamiento
Muy Húmeda	> 1000	< 2	3 a 5
Semi Húmeda	700 a 1000	2 a 4	5 a 8
Seca	< 700	4 a 6	8 a 12

Tabla N° 4 – Clasificación de zonas según lluvias e índice de plasticidad

Si el suelo tiene que cumplir funciones de capa de rodamiento se requiere que presente características de calidad determinadas. Estas serán un poco menos exigentes si se lo utiliza como una base que va a ser cubierta. Se utilizarán valores de resistencia medidos como “Valor Soporte Relativo” o como “Resistencia a Compresión Simple” para el caso de bases granulares con incorporación de ligantes hidráulicos (cal, cemento), con procesos

de ensayo que se encuentran descriptos en las Normas IRAM 10520 y 10518. También deberá tenerse en cuenta, en todos los casos de diseño, los espesores de cada capa; limitados por el mayor de los tamaños de las partículas.

5.7.3 Estabilización química

La estabilización iónica de suelos para uso vial posee beneficios y antecedentes que la convierten en una opción válida al momento de pensar una solución consistente en el tiempo y donde la ecuación costo-beneficio resulta apropiada a los objetivos considerados. Los estabilizadores iónicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo con el tipo y condiciones de aplicación de cada estabilizador químico, así como del tipo de suelo a tratar.

Hoy en día en el mundo se utiliza una variada gama de agentes estabilizadores

iónicos, que pueden separarse en tres grandes grupos desde la visión química y funcional de los mismos:

- A. Polímeros
- B. Aceites sulfonados
- C. Enzimas

Todos los productos y tecnologías indicadas apuntan a alcanzar el mismo objetivo, que es el de modificar el suelo para incrementar la resistencia mecánica y/o hacer al material aditivado más resistente ante la acción desestabilizadora del agua.

También es importante mencionar que existen en el mercado otro grupo de aditivos químicos para uso vial que son empleados por lo general como reductores del desprendimiento de polvo, tales como las sales de cloruro de calcio y cloruro de magnesio, las ligninas, etc. Este tipo de aditivos se diferencian de los estabilizantes iónicos, de la cal, el cemento y el asfalto, porque se aplican sobre una base estructuralmente firme, mediante riegos superficiales y en la mayoría de los casos es necesaria una re aplicación periódica para mantener su eficacia. Este tipo de tecnologías son aplicables en zonas de climas áridos o de bajo régimen de lluvia.

Los suelos más aptos para la estabilización iónica en términos generales son los suelos finos, que son aquellos que pasan en más del 35% por el tamiz no 200 (75 micrones) según la clasificación del Highway Research Board (H.R.B.) y que pierden rápidamente las propiedades de resistencia, densidad y perfil de escurrimiento en obra ante la presencia de humedad.

Esta caracterización no es excluyente y lo más adecuado y recomendable antes de desestimar una estabilización iónica es procurar algún tipo de asesoramiento técnico concreto de estas tecnologías sobre el suelo a trabajar en cada caso.

Analizaremos a continuación las siguientes consideraciones particulares:

- Características funcionales
- Sistema constructivo
- Características físico-químicas y condiciones para el correcto manipuleo de los productos químicos
- Consideraciones finales

5.7.3.1 Características funcionales

La estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador iónico, que se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar de acuerdo a especificaciones técnicas propias de cada producto.

La aplicación de un estabilizador iónico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar y estabilizar su comportamiento en la etapa de servicio.

En su aspecto genérico los estabilizadores iónicos son productos que actúan como agentes de intercambio iónico sobre los suelos que poseen una gran actividad química entre sus capas (mayoritariamente arcillas) y que en presencia de agua generan un aumento notable de su volumen, disminuyendo como consecuencia directa su capacidad portante.

El uso de este tipo de productos genera que las partículas de arcilla queden rodeadas por iones de su misma carga, disminuyendo la doble capa eléctrica, por lo que el “agua pelicular” que conforma el sistema arcilla-agua se convierte en “agua superficial” y como tal, se elimine por evaporación o compactación.

Si bien hemos mencionado los efectos de los estabilizadores iónicos sobre las arcillas -que son el material nativo predominante en gran parte de nuestro territorio y especialmente en los caminos rurales con alta conflictividad para su mantenimiento- es necesario aclarar que los productos iónicos pueden ser utilizados con éxito en la estabilización de suelos con otro tipo de materiales nativos. Por este motivo se sugiere consultar con cada proveedor o fabricante los alcances y requerimientos de sus productos.



Para el correcto funcionamiento de un camino rural tratado con un estabilizante iónico de suelos se tendrá que tener en cuenta las recomendaciones de los departamentos de soporte técnico de los aditivos existentes en el mercado a fin de poder brindar las garantías y seguridades para el éxito del sistema propuesto.

Debido a que coexisten en el mercado diversos tipos de productos químicos que procuran estabilizar el comportamiento del suelo se debe requerir a los fabricantes la mayor cantidad de información de los productos que fabrican y/o comercializan, tales como:

- Una correcta rotulación y etiquetado

del estabilizador iónico en su envase

- Certificaciones de estudio y aprobación de organismos públicos que avalen el ventajoso funcionamiento de la marca seleccionada
- Certificaciones medioambientales, cartillas de seguridad y cualquier otra recomendación adicional necesaria para el seguro manipuleo de los aditivos por el personal de obra, así como para los equipos con que se aplicarán al suelo

Los estabilizadores iónicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo con el tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo a tratar.

5.7.3.2 Sistema constructivo

Para la correcta aplicación de los estabilizantes iónicos los sistemas constructivos pueden ser flexibles -y de esta manera dar una óptima respuesta a las diversas realidades medioambientales y de características del suelo del lugar de la aplicación de estas tecnologías- pero nunca podrán ir disociados de los factores claves para alcanzar un óptimo funcionamiento de los suelos, como ser:

- Respetar los valores de humedad óptima de compactación y densidad máxima de los suelos de las obras, determinado mediante el ensayo de compactación PROCTOR T-99 (según VN-E5-95) o acorde a la clasificación del suelo tratado.
- Construir considerando siempre el correcto escurrimiento de las aguas. Para esto deberán realizarse los trabajos co-

rrespondientes en cunetas, acequias, canales, cruces de caminos, entre otros, y de esta forma evitar el anegamiento de los caminos tratados durante los periodos de lluvia.

- El suelo a tratar no deberá contener raíces, matas de pasto, ni otras materias extrañas putrescibles.

El procedimiento constructivo adoptado será aquel que le permita alcanzar la densidad exigida, según la recomendación de un técnico vial. Deberá responder al siguiente esquema de trabajo general:

a. Escarificar el suelo con motoniveladora en un espesor variable, que surgirá de la correcta evaluación de diversos factores ya considerados.

b. Roturar el suelo con rastra de discos u otro equipo vial que permita alcanzar una granulometría homogénea en la superficie a tratar.

c. Incorporar en el tanque regador la cantidad de estabilizante iónico que resulta del cálculo de la dosificación recomendada por la superficie a tratar y agregarle la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima de compactación para dicha superficie.

d. Aplicar la solución en varias pasadas sobre la traza, mezclando el suelo mediante rastra de discos o equipo similar, en forma periódica, con el fin de lograr una correcta homogenización de la humedad en el suelo.

e. Darle forma a la traza.

f. Compactar con pata de cabra o equipo similar por estratos delgados.

g. Incorporar piedra o algún otro elemento que permitan generar una capa que funcione como carpeta de rodamiento, mejorando la fricción de la capa y el agarre del neumático durante los periodos húmedos y de lluvia, en una cantidad también variable según surja del diseño.

h. Perfilar con motoniveladora.

i. Sellar la superficie con rodillo liso autopulsado.

Se recomienda evitar aplicar un estabilizante iónico en capas de espesor muy delgadas (menores a 10 cm) o muy gruesas (mayores a 20 cm). En los casos donde se deba aplicar un estabilizante iónico en espesores de capa tratada de más de 20 cm se recomienda dividirlo en múltiples capas para su correcta compactación, tomando el criterio de espesor mencionado anteriormente.

El suelo sobre el cual se incorporará el producto estabilizante iónico se considerará apto cuando cumpla con las características establecidas por los fabricantes de los productos ofrecidos en el mercado.

Por último, es importante tener en cuenta que un correcto dosaje del aditivo estabilizador, una mezcla íntima y eficiente entre el suelo y la humedad aportada con aditivo y una eficiente compactación, son

las claves para que se materialicen en forma esperada las mejoras diseñadas.

5.7.3.3 Características fisicoquímicas y condiciones para el correcto manejo de los productos químicos

Partiendo de que no todos los estabilizantes iónicos son iguales, debemos conocer los siguientes elementos al momento de analizar su incorporación para mejorar un camino rural:

1. La base química del producto considerado, que como ya fue mencionado permite clasificarlos en:

- a. Polímeros
- b. Aceites sulfonados
- c. Enzimas

2. El tipo de pH. Este es el coeficiente que indica el grado de acidez o alcalinidad del producto en estado de comercialización. Este elemento nos permitirá saber si el producto considerado nos generara problemas con los equipos constructivos y cuidados especiales con el personal de obra.

3. El estabilizante iónico deberá contar con estudios de toxicidad e impacto ambiental emitido por algún organismo oficial nacional o universidad nacional.

4. Los estabilizantes iónicos de suelos deben contar con envases precintados y etiquetas que identifiquen las claves de riesgo, nombre comercial, lote y fecha de fabricación, peso neto y precauciones en el manejo.

5. Indicaciones de seguridad recomendadas por el fabricante del estabilizante iónico de suelos para el correcto transporte, acopio y utilización de su aditivo en obra.

5.7.3.4 Consideraciones finales

El dosaje de cada estabilizador iónico debe determinarse recordando que existe una amplia gama de productos, para distintos usos, tipos de suelo, y con distinto porcentaje de aplicación algunos respecto a otros. A modo de ejemplo, en algunos casos puede ser necesario un curado (riegos de agua) con posterioridad a finalizada su aplicación, mientras que otros caso no.

5.7.4 Estabilización Físico-Química

5.7.4.1 Suelos Estabilizados con Cal

5.7.4.1.1 Propiedades

El tratamiento de los suelos con cal permite obtener una serie de mejoras en sus propiedades que se enumeran a continuación:

- Floculación o aglomeración de las partículas de arcilla en otras más gruesas
- Modificación apreciable de su plasticidad, disminuyéndola en suelos de media y alta plasticidad, y aumentando el límite líquido y el límite plástico en suelos de baja plasticidad ($IP < 15$).
- Aumento de la capacidad de soporte
- Mejor estabilidad volumétrica

- Aumento de la resistencia a la compresión en función del tipo de suelo, (esto es poco apreciable en suelos no plásticos)
- Resistencia frente a la acción del agua
- Permeabilidad mayor inmediatamente después del mezclado, pero finalmente resulta igual o más impermeable que el suelo original
- Mejor resistencia a los ciclos de congelamiento y deshielo

5.7.4.1.2 Dosificación

Las aplicaciones de los tratamientos con cal son muy variadas y es por ello que no existe una única metodología para establecer su dosificación.



En términos generales, en primer lugar se debe establecer claramente el objetivo del tratamiento, ya que de eso dependerá la selección del material más conveniente.

Así, si el objetivo es el secado del suelo, el material más conveniente para este trabajo es el empleo de cal viva. Si se trata de mejorar suelos plásticos, en este caso la recomendada sería la cal aérea, sugiriéndose seleccionar aquella que cuente con mejor relación índice de cal útil vial / precio. En cambio si los suelos son plásticos (reactivos) y el objetivo es su estabilización, se recomienda emplear cal hidratada.

El contenido de cal a emplear se determina mediante estudios, como se explica a continuación, debiéndose verificar los requisitos o exigencias establecidos en función de uso dentro de la conformación

del camino. Este contenido se establecerá en porcentaje (%) de la relación entre la cantidad de cal en kilogramos respecto a la masa de suelo seco.

El material empleado deberá cumplir los requisitos establecidos en las normas IRAM correspondientes, según se detalla a continuación:

- Cal hidráulica de origen natural, hidratada, en polvo, para construcción: norma IRAM 1508
- Cal aérea hidratada, en polvo, para construcción: norma IRAM 1626
- Cal viva aérea para construcción: norma IRAM 1628
- Cal hidráulica compuesta de escorias, hidratada, en polvo, para construcción: norma IRAM 1629

La metodología de dosificación que se sugiere utilizar es la establecida por M. R. Thompson, cuyos pasos se resumen a continuación:

1. Establecer la reactividad del suelo. Para ello se sugiere la realización de ensayos de compresión no confinados en probetas compactadas de suelo solo y de suelo con 5% de cal hidratada, curadas 28 días a temperatura ambiente (23 - 25 °C) o 48 horas a 50°C. Mediante este procedimiento se establece como suelos reactivos a aquellos en los que el aumento de resistencia respecto del suelo solo es mayor que 3,5 Kg/cm². Los que no alcanzan ese valor en el incremento de resistencia, se consideran como no reactivos y solo pueden ser corregidos o modificados (no estabilizados).

2. En el caso de suelos reactivos, estabilizados con cal (suelo cal), se preparan series de tres probetas con porcentajes de cal hidráulica crecientes (por ej.: 3%, 5%, 7%, 9%) a las que, luego de 7 días de curado, se las ensaya a compresión. El porcentaje de cal de diseño resultará aquel que permita cumplimentar las especificaciones de resistencia establecidas según la capa que se trate dentro de la estructura del camino.

3. En el caso de suelos no reactivos, modificados con cal, el procedimiento consistirá en mezclar distintas muestras de suelo con dotaciones crecientes de cal aérea (por ej.: 2%, 3%, 4% y 5%) dejando transcurrir un período mínimo de 1 hora para que la cal actúe adecuadamente con el suelo y puedan valorarse realmente sus efectos. En la mayoría de los casos el porcentaje de cal se establece en función de la reducción del índice plástico requerida, aunque también puede incluirse en la valoración la reducción en los valores de hinchamiento e incluso el incremento del valor soporte (CBR).

5.7.4.2 Suelos Estabilizados con Cemento

5.7.4.2.1 Propiedades

El tratamiento de los suelos con cemento permite conseguir un material que se caracteriza por:

- Mejor trabajabilidad, menor plasticidad e hinchamiento, incrementando sensiblemente la capacidad soporte del suelo original
- Material de alta resistencia capaz de

soportar adecuadamente las cargas de tránsito previstas en servicio

- Elevada rigidez, que le permite distribuir las cargas en superficies mayores, limitando los esfuerzos y deformaciones que alcanzan a las capas inferiores
- Alta durabilidad
- Ausencia consolidaciones o deformaciones frente a la acción repetitiva de cargas
- Evolución rápida de resistencias en comparación con otros aglomerantes, alcanzando valores apreciables a temprana edad
- Fisuración por retracción térmica (aunque la fisuración a intervalos más o menos regulares es un hecho inherente a su naturaleza y no debe ser atribuida en general a fallos de ejecución)
- Baja resistencia a la abrasión. Los suelos tratados con cemento no presentan buena resistencia a la abrasión producida por el paso de vehículos pesados, por lo que en esos casos debe realizarse un tratamiento superficial

5.7.4.2.2 Tipos de tratamientos con cemento

En función de su aplicación específica se pueden distinguir distintos productos cuando se mezcla suelo con cemento y agua.

Suelo modificado con cemento: se emplea para mejorar las propiedades físicas y mecánicas y las características de construcción de suelos limosos y arcillosos, reduciendo su plasticidad e incrementando la densidad de compactación y la resistencia del material. Con un 3 % - 5 % (en peso seco) de cemento utilizado para

modificar un suelo, el producto final que se obtiene es un material de construcción con mejor trabajabilidad, menor plasticidad e hinchamiento y con un incremento de su capacidad soporte (menor deformación bajo cargas).

Suelo estabilizado con cemento (suelo cemento): se aplica al material estructural compuesto de suelo y cemento portland, mezclados en forma íntima y compactada a densidad máxima, con un contenido de humedad óptima. El suelo cemento compactado contiene suficiente cantidad de cemento para endurecer al suelo y la humedad óptima de compactación alcanza para hidratar al cemento. En este tipo de materiales se emplea un mayor contenido de cemento que en el caso anterior, resultando en una capa durable y resistente a la humedad y al congelamiento, lo que les permiten soportar las tensiones del tránsito y las acciones del clima. Los contenidos de cementos típicos varían de 3 % a 10 %, resultando a 7 días en resistencias a la compresión de 2,1 MPa a 5,5 MPa.

Cuando los suelos a tratar con cemento presenten valores excesivos de humedad o plasticidad, resulta conveniente realizar un tratamiento previo con una dosis moderada de cal, optimizando de esta manera la acción del cemento sobre el suelo.

En estos casos la mezcla debe realizarse en dos etapas: primero se mezcla el suelo con la cal y luego de transcurridas unas horas, se procede a incorporar el cemento, que producirá un efecto simi-

lar al que se obtendría en suelos de baja plasticidad.

5.7.4.2.3 Dosificación

Para el tratamiento de suelos se deberá emplear cualquier tipo de cemento de uso general, que reúna los requerimientos especificados en la norma IRAM 50.000. En relación al empleo de cementos de albañilería, si bien podría ser aceptable también para trabajos de este tipo, la experiencia indica que la mejor relación costo-beneficio se obtiene con los cementos de uso general citados anteriormente.



La dosificación de una mezcla de suelo cemento se inicia con el muestreo y caracterización en laboratorio de los suelos que se encuentran en el trazado.

Habiéndose efectuado un primer estudio de identificación de las propiedades de los suelos, se podría establecer en forma orientativa un contenido de cemento provisorio para la realización de un estudio de costos preliminar que involucraría la ejecución de una capa de suelo cemento en el camino. Este contenido de cemento provisorio luego se debe validar o corregir mediante estudios de durabilidad por ciclos de humedecimiento y secado y congelamiento-deshielo. Este resulta ser el procedimiento usual de dosificación de mezclas de suelo cemento (Norma VN E21 y VN E22).

En la siguiente tabla se resumen los contenidos típicos de cemento para los diferentes tipos de suelos, según la clasificación del Highway Research Board.

Tipo de Suelo (s/AASHTO)	% en peso por Compactación	% en peso por Durabilidad
A-1a	5	3-4-5
A-1b	6	4-6-8
A2-4 / A2-5 / A2-6 / A2-7	7	5-7-9
A3	9	7-9-11
A4	10	8-10-12
A5	10	8-10-12
A6		10-12-14
A7		11-13-15

Tabla N° 5 – Porcentaje de cemento típico para distintas clases de suelo (según la clasificación HRB)

El procedimiento de dosificación completo requiere de los siguientes pasos:

1. Establecer un contenido de cemento típico en función del tipo de suelo que se trate (**segunda columna de la tabla N° 5**)

2. Mezclar una muestra del suelo en estudio con este porcentaje de cemento para establecer la humedad óptima y densidad máxima correspondiente (IRAM 10522 / VN E-19).

3. Con el valor de densidad máxima obtenida, el porcentaje de material retenido en el tamiz N°4 y el porcentaje de material menor de 0,05 mm (50 μ) para los suelos arenosos o el índice de grupo y el porcentaje de limos-material entre 0,05 mm (50 μ) y 0,005 mm (5 μ) para los suelos arcillosos-limosos, se realiza la determinación previa de la cantidad de cemento fijado en las normas IRAM 10523 o VN E 20.

4. Se moldean probetas con el contenido de cemento determinado y con contenidos correspondientes a 2% por debajo y por encima, para la realización de los ensayos de durabilidad por humedecimiento-secado y congelamiento-deshielo (según normas IRAM 10524 y 10514 / VN E 21 y E 22).

5.El porcentaje de cemento que posea una pérdida menor a la admisible para el tipo de suelo en estudio (ver tabla N° 5), luego de los 12 ciclos de durabilidad (tanto humedecimiento-secado como congelamiento-deshielo), se adopta como el contenido óptimo para que la mezcla reúna las características de suelo-cemento. Resulta conveniente realizar una evaluación del comportamiento de las distintas mezclas analizadas, mediante el trazado de las curvas de pérdida de masa respecto al contenido de cemento empelado (**ver imagen N° 22**).

6.En términos prácticos conviene aumentarlo entre 0,5 y 1% según el método constructivo que se emplee para estar a resguardo de las variaciones que se producen en la etapa de ejecución.

Tipo de Suelo	Pérdida máxima
A-1a; A1b; A3; A2-4; A2-5	14%
A2-6; A2-7; A4; A5	10%
A6; A7-5; A7-6	7%

Tabla N° 6 – Porcentaje máximo de pérdida admitido luego de 12 ciclos de humedecimiento-secado o congelamiento-deshielo

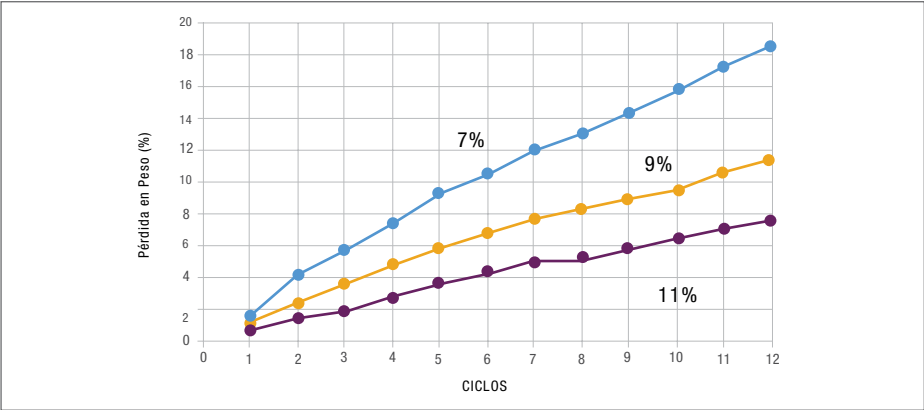


Imagen N° 22 - Gráfica de las pérdidas de masa en ciclos de congelamiento-deshielo

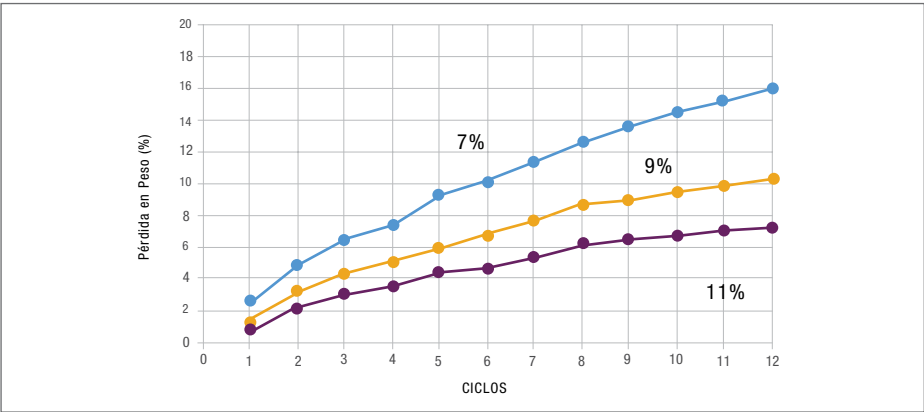


Imagen N° 23 - Gráfica de las pérdidas de masa en ciclos de humedecimiento-secado

En las gráficas de las imágenes N° 22 y N° 23 se representan las pérdidas de masa durante los 12 ciclos de humedecimiento-secado y congelamiento-deshielo para contenidos de cemento de 7%, 9% y 11%. A continuación, resulta conveniente graficar las perdidas finales registradas luego de 12 ciclos por ambas metodologías y con los distintos contenidos de cemento ensayados (imagen N° 24). En este caso, por tratarse de un suelo A4, el porcenta-

je máximo de pérdida de masa por ciclos de durabilidad es 10%, estableciéndose a partir de allí que el contenido mínimo de cemento que permitiría cumplir ambos requisitos asciende a 9,8%. Luego en términos prácticos se elegirá un contenido levemente superior (10,5% ó 11% seguramente) para situarnos a resguardo de las normales variaciones que se presenten durante la fase constructiva.

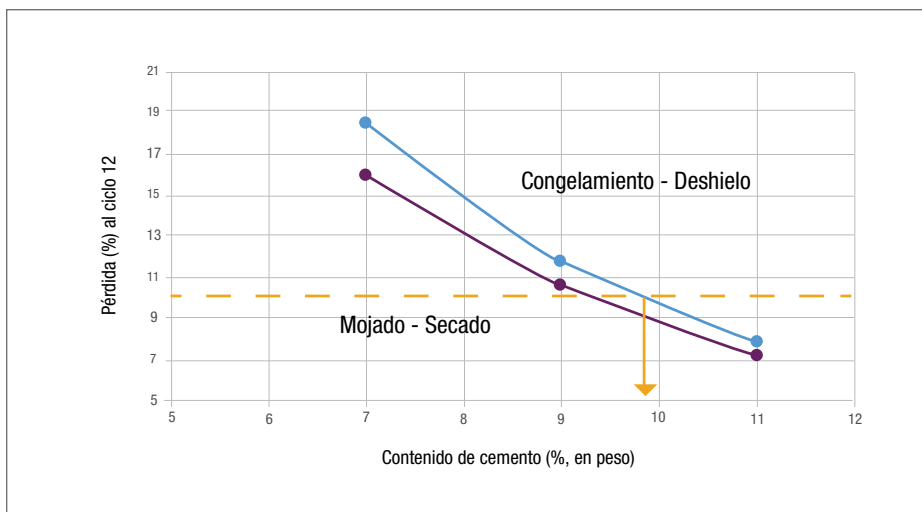


Imagen N° 24 - Determinación del contenido mínimo de cemento por durabilidad

5.7.4.3 Ejecución de suelos estabilizados con cal y/o cemento

El estabilizado de suelos con cemento o cal permite aprovechar al máximo las propiedades de los materiales, reduce el movimiento de suelos y permite obtener una buena superficie de trabajo en condiciones climáticas adversas. Además, las capas de suelo tratado presentan una mayor vida útil debido al aumento de su capacidad soporte y menor sensibilidad a los efectos del agua y clima. Los métodos de construcción son simples y respetan la siguiente secuencia:

a) Trabajos previos

- Perfilado transversal y longitudinal de la superficie del camino
- Escarificación, pulverización del suelo y, de ser necesario, mojado previo
- Conformación del suelo preparado de

acuerdo con el perfil transversal y longitudinal del camino

b) Proceso constructivo

- Distribución del conglomerante sobre el suelo previamente conformado
- Mezcla y humectación
- Compactación
- Perfilado superficial y terminado
- Curado

5.7.4.3.1 Almacenamiento del conglomerante

Para evitar interrupciones en los trabajos y facilitar las tareas de suministro, es recomendable contar con capacidad de almacenamiento de conglomerante para -por lo menos- un día de producción, particularmente en obras de gran importancia.

El almacenamiento del conglomerante depende del tipo de obra, de las producciones previstas y del suministro (a granel o embolsado). Así, en obras pequeñas suele ser conveniente el empleo de bolsas y su distribución en forma manual sobre el suelo, mientras que en obras de mayor magnitud el suministro suele ser a granel y su almacenamiento se realiza en silos.



En caso de utilizar cal o cemento en bolsas, éstas deben almacenarse bajo techo, separadas del suelo y de las paredes a una distancia de al menos 15 cm. La altura del acopio debe ser igual o menor que 10 bolsas.

En aquellas obras que se encuentran confinadas en un determinado radio el empleo de silos fijos suele ser la manera más práctica de almacenamiento. Por otro lado, en obras lineales de gran longitud pueden resultar más convenientes los silos móviles o remolcables, de manera de reducir los tiempos y costos de transporte.

5.7.4.3.2 Trabajos previos

La construcción comienza con la preparación del suelo para homogeneizar el material y facilitar las tareas de mezclado. Dicha preparación contempla las tareas de escarificado, pulverización, aireación o humectación del suelo y la nivelación del camino.

Antes de la preparación del suelo, si se va a tratar el suelo existente y hay presencia de materia orgánica, ésta debe retirarse antes

de realizar la nivelación y perfilado del camino.

Si el suelo se encuentra muy húmedo se lo debe airear para favorecer su desecación. En suelos muy finos o plásticos, esta solución puede no ser efectiva y tendrá que utilizarse cal viva para reducir la humedad y aglutinar los finos.

Por el contrario, si el suelo se encuentra demasiado seco será necesario aportar agua para acercar la humedad del suelo a la óptima y facilitar las tareas de escarificado.

La escarificación se realiza sobre el tramo que se construirá en el día, desde los bordes hacia el centro de la calzada, verificando su profundidad al iniciar la operación, que debe corresponderse con el espesor del tratamiento.

Los equipos utilizados para este tipo de tareas son los que normalmente se utilizan para el movimiento de suelos, como una niveladora provista de escarificadores o también equipos agrícolas, como arados con rejas o discos, rastrillos o desterronadores arrastrados por un tractor.

Cuando sea necesario deberá eliminarse los elementos gruesos mediante despedregadoras -si la cantidad de partículas gruesas es relativamente baja- o cribas si los porcentajes son mayores.

Una vez terminada esta operación se procede a la pulverización del suelo utilizando el mismo equipo que se empleará

durante la etapa de mezclado y su posterior nivelación con motoniveladora, de manera de obtener un espesor uniforme de suelo pulverizado, listo para recibir el conglomerante.

A excepción de la nivelación del suelo, los pasos anteriores de preparación pueden simplificarse al utilizar equipos estabilizadores-recicladores, ya que realizan en forma conjunta el escarificado y pulverización.



Imagen N° 25 –Regado del suelo con camión cisterna

5.7.4.3.3 Distribución del conglomerante

El objetivo de esta etapa es conseguir una dosificación del conglomerante lo más precisa posible, de acuerdo con la dosis especificada y el espesor del material a tratar.

La distribución del conglomerante puede hacerse en forma mecánica, con equipos distribuidores autopropulsados o remolcados, o simplemente en forma manual si se utilizan bolsas.

En general se recomienda que la distribución se realice con equipos mecánicos, por las prestaciones y rendimientos que ofrecen, reservando la distribución manual para obras pequeñas, sectores irregulares o zonas de difícil acceso. La distribución se realiza por fajas adyacentes, borde contra borde, sobre toda la superficie a tratar.

Si se realiza en forma manual, las bolsas se deben colocar sobre la superficie, distribuidas de manera uniforme, de modo que la cantidad de cemento o cal coincida con la requerida por metro cuadrado en el tramo a construir. A continuación se abren las bolsas y se vuelca su contenido como si fuera un caballete transversal y luego se distribuye el material entre los caballetes transversales lo más uniformemente posible, arrastrando rastras de dientes fijos o de cepillos a lo largo del tramo a construir.



Imagen N° 26 – Distribuidor de cemento tirado con tractor

5.7.4.3.4 Humectación y mezclado

Una vez completada la distribución del conglomerante sobre el suelo pulveriza-

do se debe iniciar su mezcla con el suelo humedecido. Esta operación puede realizarse con equipos agrícolas o viales, siendo necesarias en el caso de los primeros varias pasadas de los mismos para obtener una mezcla íntima y uniforme.

El mezclado se realiza por fajas, desde el borde hacia el centro, con un solapamiento entre bordes de fajas de 15 a 20 cm.

Cuando se emplee cemento como conglomerante, el mezclado, la compactación y la terminación del suelo tratado debe efectuarse dentro del periodo de trabajabilidad de la mezcla. Si se desconoce este período se deberá adoptar un plazo máximo de 2 horas desde el momento que se inicia la distribución de cemento hasta que concluye la terminación final. Esto determinará la longitud de las fajas a efectuar en función del equipamiento disponible en el sitio.



Imagen N° 27 –Mezclado in situ

Durante las operaciones de mezclado corresponde determinar el contenido de humedad de la mezcla. Para ello se extraen muestras y se controla la cantidad de agua que debe incorporarse, si fuera

necesario, para llegar a la humedad óptima de compactación. La humectación se realiza mediante riego sobre la superficie con camiones cisterna de agua tradicionales o, si se utilizan equipos de estabilización más modernos, mediante inyección en la cámara de mezclado. En este último caso, el sistema permite conseguir una distribución homogénea del agua y controlar la cantidad agregada por unidad de volumen.

El mezclado in situ puede realizarse con equipos de obra diseñados específicamente para el tratamiento de suelos, como los estabilizadores-recicladores y los equipos agrícolas, más simples, como los arados de discos, las rastras de dientes flexibles o el rotovator agrícola.

Los mezcladores in situ pueden ser autopropulsados o remolcados y permiten pulverizar, triturar, airear, homogeneizar y esponjar el suelo, y mezclarlo con uno o más materiales ya sean líquidos, granulares o pulverulentos.

Los estabilizadores de suelos o recicladores se encuentran especialmente diseñados para el tratamiento de suelos. Se caracterizan por contar con una cámara de mezclado y un rotor que pueden encontrarse en la parte posterior o, en el caso de los equipos más modernos, en la parte central. El rotor puede incorporar distintos tipos de herramientas en función del trabajo a realizar: puntas (mayor poder de disgregación), paletas (para suelos de cualquier tipo), cuchillas (para suelos más cohesivos), entre otros.

El ancho del rotor determina el ancho de trabajo y su diámetro (con y sin las herramientas) determina la profundidad máxima de trabajo, que puede ser incluso superior a los 40 cm.



Imagen N° 28 – Equipo estabilizador-reciclador

En el caso que se empleen equipos agrícolas, los más utilizados en este tipo de obras son:

- **Arado de discos:** equipo formado por discos cóncavos colocados en uno o más ejes arrastrados por un tractor. Al encontrarse con el suelo producen un volteo y mezclado del material. Suele ser necesario un arado del suelo previo a su aplicación. Utilizando discos de 1 metro de diámetro y tractores potentes a baja velocidad es posible obtener una profundidad de trabajo que no supere los 20 cm. Con cuatro pasadas se pueden conseguir mezclas adecuadas para la mejora o el secado de suelos, pero no como para utilizar como base de pavimento.
- **Arado de reja:** arado convencional formado por cuchillas de corte y placas

vertederas arrastrado por un tractor. Permite alcanzar profundidades mayores que los discos, pero la calidad del mezclado es menor, necesitando aproximadamente el doble de pasadas para conseguir una mezcla adecuada.

- **Rotovator agrícola:** consta de un eje horizontal acoplado a la toma de fuerza del tractor, con discos provistos de cuchillas en forma de “L” orientadas en forma alternada. La profundidad de trabajo no suele superar los 15 cm y requiere aproximadamente dos pasadas para conseguir mezclas adecuadas.



Imagen N° 29 – Arado de discos arrastrado por tractor

5.7.4.3.5 Compactación

Antes de iniciar las tareas de compactación se deben verificar los espesores, teniendo en cuenta la reducción que se va a producir por la compactación, de manera que una vez finalizada, la cota coincida con la de proyecto.

Se debe recordar que en el caso de utilizar cemento como conglomerante estas tareas deben realizarse con la menor de-

mora posible para evitar la pérdida de humedad de los materiales sueltos y porque el plazo de trabajabilidad, que suele ser relativamente corto, establece el tiempo disponible para finalizar las tareas de compactación. Cuando se emplea cal para la modificación de las propiedades del suelo, en cambio, no resulta conveniente realizar la compactación hasta luego de una hora, para permitir la reacción de la cal con el suelo. La selección del equipo de compactación dependerá del tipo del material a compactar y de su condición al momento de ser compactado. Luego, de acuerdo al equipo de compactación seleccionado y al espesor de la capa se deberá establecer la velocidad de avance y el número de pasadas. Debe tenerse en cuenta que cuando se trabaje con cemento, la compactación debe finalizarse durante el periodo de trabajabilidad disponible.

En general se utilizan uno o bien una combinación de los equipos mencionados en el apartado 5.6 de este capítulo (elección del equipo de compactación): rodillo vibratorio liso, rodillo estático o vibratorio pata de cabra y compactador de neumáticos.



Imagen N° 30 –Compactación con rodillo neumático

En estas condiciones se inician las pasadas de los rodillos, comenzando por los bordes y progresando hacia el centro de la calzada. Esta operación se repite las veces que sea necesario para asegurar la compactación uniforme en todo el ancho y espesor del tramo en construcción.

Aproximadamente cuando se haya compactado las dos terceras partes del espesor final, se realiza una pasada de niveladora para obtener la conformación transversal preliminar de la calzada y uniformidad en el espesor de la mezcla.

Luego se continúa con las pasadas hasta alcanzar la densidad especificada. Durante la compactación se debe verificar la densidad alcanzada y el contenido de humedad de la mezcla suelta, para detectar desvíos y realizar las correcciones que sean necesarias. Finalmente se conforma nuevamente el perfil correcto de la calzada y se termina la compactación superficial de la mezcla mediante pasadas de un rodillo neumático.

5.7.4.3.6 Perfilado superficial y terminado

El perfilado superficial se realiza empleando motoniveladoras, que permiten corregir las deformaciones puntuales y el esponjamiento que provocan los tratamientos realizados sobre el suelo. En función del tipo de obra que se realice será necesario contar con equipos más o menos precisos, de mayor o menor capacidad de producción.

5.7.4.3.7 Protección y curado

El curado del material tratado se debe realizar por un periodo que varía en función del tratamiento realizado entre 3 y 7 días. En los estabilizados con cemento el curado se realiza para evitar las pérdidas de humedad durante el período de endurecimiento del material, que tiene especial significación durante los primeros siete días.

El método más recomendable consiste en cubrir la superficie con material bituminoso. Para ello pueden utilizarse asfaltos diluidos de endurecimiento medio o rápido, o emulsiones asfálticas. Los riegos en ningún caso deben superar la cantidad de un litro por metro cuadrado de superficie a regar.



Imagen N° 31 – Superficie terminada cubierta con riego asfáltico

Para evitar la penetración del asfalto, que puede impermeabilizar partículas de cemento que aún no se han hidratado de la capa superficial, inmediatamente después de finalizadas las operaciones de terminación superficial se procede a barrer la superficie y a continuación a regar con agua, para saturar los vacíos super-

ficiales previo al regado del material asfáltico, que debe materializarse mientras esa superficie se mantiene brillante por el agua regada. De esta manera el riego bituminoso se adhiere firmemente al suelo cemento sin penetrar.

En obras pequeñas, el curado puede realizarse también mediante riegos periódicos de agua, de dos a tres veces por día (dependiendo de las condiciones climáticas) que saturan superficialmente al suelo estabilizado durante siete días. Después de los siete días puede permitirse el tránsito siempre que haya endurecido en la medida necesaria para que los vehículos no la deterioren.

Cuando el estabilizado se realice con cal se recomienda cubrir el material con la capa siguiente o mantener la humedad mediante riegos de agua.

5.7.4.4 Pavimentos de suelo cemento

Si la capa que se construye va a ser transitada, y si las condiciones de tránsito lo hacen necesario, sobre la calzada de suelo cemento se debe construir una capa bituminosa para absorber la abrasión que producirán los vehículos. Para ello se puede realizar un tratamiento bituminoso tipo simple o doble.

Es preferible que la construcción de este tratamiento se postergue de dos a cuatro semanas para que pueda detectarse cualquier falla superficial del suelo cemento. No obstante, cuando el proceso constructivo ha sido el correcto, esta carpeta superficial puede construirse casi de inmediato una vez terminada la calzada.

5.7.5 Estabilización con asfalto

5.7.5.1 Principios de la estabilización bituminosa

La utilización de los ligantes bituminosos para lograr la estabilización de los suelos comprende una marcada diferencia en la conformación y comportamiento de la

estructura inerte-betún, según se utilice como árido un material cohesivo o uno sin cohesión. Las dos estructuras que pueden lograrse son:

I. Sistema suelo-betún

II. Sistema arena-betún

» SISTEMA SUELO-BETÚN

En el primer sistema la estabilidad de la estructura depende esencialmente de la fricción interna del árido y de la cohesión del ligante arcilla-agua del mismo. El betún actúa como agente impermeabilizante, impidiendo así el acceso de agua al suelo y su acción perjudicial sobre el ligante arcilla-agua.

Como concepto fundamental se debe destacar que en este sistema la función primordial del betún no es producir cohesión sino proteger la cohesión brindada por el ligante arcilla-agua. El ligante bituminoso obtura los conductos capilares del suelo impidiendo el acceso de agua una vez que la humedad de la mezcla se vaya parcialmente evaporando, permitiendo así adquirir la estabilidad necesaria para soportar las sollicitaciones a que estará sometida. Por tal motivo, la adición de una cantidad excesiva de asfalto o el aumento del tiempo de mezclado del suelo con el material bituminoso, más allá de ciertos límites, produce una sensible disminución de la estabilidad de la mezcla a causa de una mayor distribución del betún que va recubriendo paulatinamente las partículas del suelo, perturbando así el sistema.

» SISTEMA ARENA-BETÚN

En el segundo sistema, donde el árido de fricción interna adecuada carece de cohesión propia, esta debe ser aportada por el betún y por ello se observa que la cantidad de asfalto que interviene en estos tipos de estabilizaciones es superior a la del sistema anteriormente mencionado. En consecuencia, la estabilización de estas arenas con materiales asfálticos implica la incorporación, hasta cierto límite, de mayores porcentajes de betún a los efectos que permitan recubrir las partículas y producir el efecto ligante entre ellas. Un exceso de asfalto puede afectar la estabilidad del sistema por una disminución de la resistencia friccional de la arena.

Por último, debe destacarse que pueden existir estabilizaciones bituminosas donde el betún cumpla con ambas funciones, es decir, aportando la cohesión faltante e impermeabilizando el sistema (por ejemplo en materiales granulares de poca plasticidad)

5.7.5.2 Materiales

Los materiales más apropiados para recurrir a la solución de estas estabilizaciones bituminosas son suelo-asfalto, arena-asfalto y grava-arena-asfalto.

5.7.5.2.1 Suelo-asfalto

Suelos

Aunque se admite un amplio rango de tipo de suelos que pueden ser estabilizados con materiales bituminosos, sólo los suelos que cumplan con los requisitos indicados en la **tabla N° 7** permiten lograr resultados satisfactorios. Debe tratarse de que los suelos sean bien graduados, con cierta plasticidad, sin superar el límite indicado y que no contengan materias orgánicas. En función de esto, las arenas limosas o arcillosas, las arcillas arenosas o limosas constituyen los suelos más adecuados para este sistema.

Generalmente los suelos que tienen un límite líquido menor de 30 y un índice de plasticidad menor de 12 pueden ser pulverizados adecuadamente y por lo tanto mezclarse uniformemente con el asfalto. Si la plasticidad excediera el valor indicado puede ser reducida mediante la incorporación al suelo plástico de arenas o suelos arenosos no plásticos.

Para facilitar la distribución del material bituminoso durante el mezclado y el desmenuzamiento de los terrones que pudieran existir el suelo debe estar suficientemente húmedo antes de mezclarlo con el asfalto.

Materiales bituminosos

Si bien tradicionalmente los asfaltos diluidos fueron los materiales utilizados para estas estabilizaciones, los adelantos tecnológicos conseguidos en la fabricación de los asfaltos emulsionados y la simultánea suspensión de la oferta de los materiales diluidos mediante combustibles hidrocarbonados provocaron que actualmente se usen según la norma IRAM 6691 las siguientes emulsiones:

- **Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales de rotura lenta (CRL)**
- **Emulsiones asfálticas catiónicas superestables (CRS)**

De allí surgen las denominaciones conocidas en nuestro medio como mezclas de “**suelo-emulsión**” o “**suelo-arena-emulsión**”.

De acuerdo con nuestra experiencia, los suelos o mezclas de suelo y arena que mejor se adaptan a estas estabilizaciones con emulsiones asfálticas son las que cumplen con los requisitos de exigencias de alguno de los siguientes grupos:

a) Fracción que pasa a través del tamiz N° 200 (menor de 35%)

Índice de Plasticidad entre 2 y 7

Valor soporte California (a la densidad máxima a exigir en obra) mayor de 15

b) Clasificación de suelos o HRB A - 2 - 4 o A - 1 - b
Equivalente de Arena menor de 40 para los suelos A-2- 4

Equivalente de Arena menor de 90 para los suelos A-1-b

Estos últimos ya se acercan bastante a las arenas del grupo siguiente.

5.7.5.2.2 Arena - asfalto

Arenas

Las arenas pueden ser de río, de playa, de médanos o de yacimientos, libres de terrones de arcilla, vegetales y otras materias orgánicas.

La granulometría no es restrictiva ya que, como se indica en la **tabla N° 7**, puede utilizarse un amplio rango. El índice de plasticidad debe ser inferior a 10 y si es posible menor de 6.

La textura rugosa y angular de la arena le confiere alta estabilidad. Las arenas con partículas lisas y redondeadas poseen bajas estabilidades, pudiéndose incrementar estas últimas mediante la incorporación de un material más fino, como puede ser relleno mineral o filler.

Materiales bituminosos

Actualmente se usan las siguientes emulsiones según la norma IRAM 6691:

- **Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales de rotura lenta (CRL)**
- **Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales de rotura media (CRM 2)**

5.7.5.2.3 Grava - arena - asfalto

Grava-Arena

La grava-arena puede ser una mezcla natural de yacimientos y de ríos o bien una mezcla artificial de ambos materiales. El material resultante debe ser bien graduado y cumplir con los requerimientos

indicados en la **tabla N° 7**. Las mezclas bien graduadas se compactan a altas densidades y tienen elevadas estabilidades. Cuando el material que se extrae del yacimiento carece de los finos necesarios debe incorporarse un material fino adicional para ajustar la granulometría.

El material a estabilizar debe tener un índice de plasticidad menor de 6 y el tamaño máximo del agregado debe ser menor que 1/3 del espesor de la capa compactada.

Materiales bituminosos

Actualmente se usan los siguientes según la norma IRAM 6691:

- **Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales de rotura lenta (CRL)**
- **Emulsiones asfálticas catiónicas convencionales de rotura media (CRM 2)**
- **Emulsiones asfálticas catiónicas superestables (CRS)**

5.7.5.3 Métodos de dosificación

Los métodos de dosificación de estas mezclas consisten en determinar el porcentaje óptimo de material bituminoso que confiere a las mismas la estabilidad mínima necesaria para soportar las sollicitaciones a que estarán sometidas y la impermeabilización adecuada para evitar el acceso de agua a la mezcla.

La estabilidad se mide registrando las cargas que soportan las probetas de mezcla antes de producirse su rotura o cuando llegan a una deformación máxima normalizada.

REQUISITOS			SUELO - ASFALTO		ARENA - ASFALTO		GRAVA - ARENA - ASFALTO	
TAMICES	1 1/2"	Retiene						
		Pasa					100	
	1 "	Retiene						
		Pasa						
	3/4 "	Retiene						
		Pasa		100		100	60	100
	Nº 4	Retiene						
		Pasa	75	100	50	100	35	85
	Nº 10	Retiene						
		Pasa						
	Nº 40	Retiene						
		Pasa	35	100			13	50
Nº 100	Retiene							
	Pasa					5	25	
Nº 200	Retiene							
	Pasa	10	50	5	25	0	12	
Límite Líquido			< 30 %					
Índice de Plasticidad			< 12 %		< 10 %		< 6 %	
Materiales Bituminosos			CRL Y CRS		CRL Y CRM 2		CRL, CRM 2 Y CRS	

Tabla N° 7 – Materiales bituminosos según el tipo de suelo

En las mezclas de arena-asfalto y de grava-arena-asfalto se está tendiendo con éxito a la valoración mediante los ensayos de tracción indirecta por compresión diametral inconfiada sugerida por las normas europeas (NLT-346/90 y similares). También los ensayos con la metodología Marshall se han utilizado con profusión en nuestro país hasta ahora. Las mezclas de suelo-asfalto, en cambio, se valoran por la resistencia al escurrimiento plásti-

co de los suelos antes y después de ser tratados mediante la extrusión a través de un orificio calibrado.

La impermeabilización se valora mediante ensayos de absorción de agua por inmersión y/o por capilaridad a los que se someten las probetas con porcentajes crecientes de asfalto. La relación porcentual entre el peso de agua absorbida según técnicas normalizadas y el peso de la

probeta seca dará la absorción de agua. Esta, a su vez, deberá ser menor que un valor máximo admisible, según sea el método de dosificación utilizado y la finalidad que se requiere de la estabilización.

Los métodos empleados para dosificar el contenido óptimo de estabilizante siempre parten de dotar a la mezcla de la cantidad de fluidos necesarios para que cuente con la lubricación conveniente durante la compactación.

Es usual, independientemente de la metodología que se adopte para el posterior moldeo, utilizar un ensayo de compactación modificado (norma IRAM 10511 // VN-E5 tipo V // ASTM D 1557 // AASHTO T-180) para determinar la cantidad total de fluidos, como ensayo previo. Combinando luego las cantidades variables de emulsión con el agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada, se procederá a realizar las diferentes mezclas, en general con cinco porcentajes diferentes de residuo asfáltico. A falta de mayor experiencia, el valor medio se puede determinar con la fórmula recomendada por Mc Kesson y adaptada por el Asphalt Institute, en función de la granulometría resultante:

$$P(\%) = \frac{K \times (0,05 \times \% \text{ grava} + 0,10 \times \% \text{ arena} + 0,50 \times \% \text{ limo, arcilla})}{\% \text{ Betún Residual}}$$

En esta fórmula K es un factor de corrección de acuerdo al agregado utilizado y toma valores que varían entre 0,40 y 0,75.

5.7.5.4 Compactación de los especímenes a ensayar

Los moldeos de los especímenes que conforman cada probeta han variado de acuerdo al criterio y al equipamiento disponible con que contaba el profesional o técnico encargado de la dosificación de la mezcla.

Se ha utilizado la compactación estática a simple pistón, con moldes perforados que permiten observar el fluir del material bituminoso; la compactación estática doble pistón en una capa, cuando se trata de especímenes de altura menor que el diámetro, o en tres capas y con distintas presiones para especímenes de igual o mayor altura que el diámetro; la compactación dinámica mediante golpes (generalmente 50 por cara) siguiendo la técnica de Marshall y últimamente hasta con el compactador giratorio que densifica por presión y amasado.

En cada caso el proceso de mezclado y acondicionamiento hasta su compactación es variable debido a la consistencia que tienen las mezclas. De la misma forma una vez producida la densificación, para que el espécimen pueda ser utilizado para ensayar debe procederse a retirarlo del molde luego de un tiempo prudente para que no pierda su forma y permitir que pierda humedad, dejándolo al aire antes de curarlo como cualquier mezcla estabilizada. En algunos casos es necesario la adición de 0,5% de cemento portland como regulador de secado para permitir la manipulación y mejorar la eficacia de la estabilización.

Las probetas de suelo-emulsión son ci-

líndricas, de aproximadamente 5 cm de diámetro y 10 cm de altura, y de iguales características pueden ser las de arena-asfalto para someterlas a ensayos triaxiales de corte. Si en cambio se quiere determinar el módulo resiliente se moldean probetas cilíndricas de aproximadamente 10 cm de diámetro y 20 cm de altura tanto para las de arena-asfalto como para las de grava-arena-asfalto. De todas formas las probetas más usadas son las cilíndricas de aproximadamente 10 cm de diámetro y 6,5 cm de altura, en virtud también de los ensayos de tracción por compresión diametral o a compresión diametral semi-confinada a los que se las someterán.

5.7.5.5 Particularidades de los ensayos

Como recomendación general, es importante determinar la necesidad de estabilización requerida por el material a mejorar y cuál es la estabilidad o resistencia requerida de acuerdo a la posición que ocupe en la estructura. Normalmente en estos caminos el estabilizado es toda la estructura, que en el mejor de los casos es recubierta para que no la destruya la erosión de los rodados.



Siempre que sea posible hay que establecer la diferencia entre el material sin estabilizar y el material estabilizado.

Los ensayos para las mezclas de arena-asfalto y de grava-arena-asfalto son los habituales para las estabilizaciones, tales como la compresión inconfina, la compresión diametral semi-confinada, la tracción por compresión diametral y en casos particulares pueden utilizarse ensayos de corte con cargas estáticas o dinámicas.

Solo se describirá con un poco más de detalle los ensayos sobre suelo-emulsión que pueden resultar más desconocidas para los técnicos que la deban aplicar.

5.7.5.6 Método de Mc Kesson

Este método se refiere al empleo de suelos con valor significativo de plasticidad, pero por supuesto en ningún caso se consideran suelos de plasticidad elevada, dado que ya se ha mencionado que no es conveniente estabilizarlos con betún por los métodos corrientes.

El procedimiento seguido por Mc Kesson emplea emulsiones bituminosas como agente estabilizante. Sin embargo, antes de detallar este método diremos que esta segunda orientación se basa en general en la utilización de ensayos de absorción y resistencia al escurrimiento plástico de los suelos, antes y después de ser tratados.

La resistencia mencionada se lleva a cabo siguiendo los mismos conceptos del clásico ensayo de Hubbard-Field, establecido para mezclas asfálticas de recubrimiento con granulometría fina (sheet – asphalt). Para llevar a cabo los ensayos, según forma modificada propuesta en “Procedures for Testing Soils” (norma ASTM 1944) el suelo una vez secado al aire será tamizado por el tamiz N° 4, empleándose en las determinaciones sólo la fracción librada por dicho tamiz. Se necesitan por lo menos 250 gramos del material para cada probeta a formarse, de un tamaño de 2 pulgadas de diámetro por 4 pulgadas de altura.

Con dicha cantidad se irán preparando tres probetas de suelo sin tratar llevado a la consistencia del límite líquido. Las probetas de suelo tratado con emulsión se ejecutarán en igual número que en el caso anterior para cada porcentaje de estabilizante, agregándose al suelo la emulsión diluida en dos partes iguales de agua. La cantidad de estabilizante que debe adicionarse se calculará por la siguiente fórmula:

$$Q = W \times (S/a)$$

Q = peso en gramos de emulsión no diluida a emplearse

W = peso en gramos del material tamizado a mezclarse

S = porcentaje de emulsión que corresponde al suelo seco no tamizado

a = porcentaje de suelo librado por el tamiz N° 4

En consecuencia, el porcentaje de emulsión a emplear se calcula como si la fracción del suelo retenida por el tamiz N° 4 hubiera sido restituida al mismo.

Una vez que están en contacto el suelo y la emulsión se mezclan íntimamente, agregándose agua adicional hasta que la mezcla tome la consistencia del límite líquido de aquel.

La proporción de estabilizante (denominada con la designación S) se determinará por la siguiente fórmula, donde k tomará valores de 1,0; 1,25 y 1,50 para las tres series de probetas que deben ensayarse. Si el valor de S determinado por la fórmula resultara menor que 4 %, los tres porcentajes se tomarán con el 4 %; 4,5 % y 5 % de estabilizante.

$$S = K \cdot n / 100 (0,055 a + 0,11 b + 0,40 c)$$

a = porcentaje del suelo pasando el tamiz N° 10 que es librado por el N° 200 y mayor que 0,005 mm.

b = porcentaje de arcilla inferior a 0,005 mm. y mayor de 0,001 mm. basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz N° 10

c = porcentaje de arcilla coloidal más fina que 0,001 mm., basado en la cantidad de suelo que pasa el tamiz N° 10.

n = porcentaje total de suelo (o mezcla de suelos) librados por el tamiz N° 10.

K = constante para cada tipo de suelo que será determinada por los ensayos de absorción y estabilidad, excepto cuando se dan valores arbitrarios como en el caso presente.

Preparada la mezcla del suelo y estabilizante o de suelo sólo en la forma ya descrita, la misma será dejada a secar al aire a temperatura ambiente del laboratorio hasta que adquiera la consistencia del límite plástico. Posteriormente será colocada en un molde cilíndrico de 2 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de altura, a fin de moldear las probetas. Estas se formarán en dos capas, golpeadas cada una 25 veces con el pisón de 1 pulgada de diámetro empleado en los ensayos para compactar los suelos sin plasticidad, hasta alcanzar cada capa una altura compactada de 2 pulgadas +/- 1/8 pulgadas (50,8 +/- 3,2 mm).

Las probetas así moldeadas se dejarán airear nuevamente hasta que puedan ser comprimidas bajo una carga de 3000 libras (1362 kg.) sin expulsar agua alrededor del pistón. Esta carga compresora

se mantendrá por espacio de un minuto. Posteriormente se sacarán del molde y se dejarán airear en el laboratorio hasta alcanzar un contenido de humedad debajo del cual no se produce contracción aparente. Después de este paso las probetas se colocarán en estufa a 60 ° C hasta alcanzar peso constante.

5.7.5.7 Ensayo de absorción

Las probetas secadas a estufa se dejarán enfriar a la temperatura del laboratorio y luego serán envueltas en papel impermeable tipo celofán en su contorno lateral y cara superior, para no restringir cualquier hinchamiento que se produjera.

Se pesarán con aproximación de un décimo de gramo y serán colocadas en el gabinete de absorción capilar, con su parte inferior de moldeo apoyando en la superficie húmeda del mismo. El gabinete se mantendrá a una temperatura comprendida entre 18 ° C y 32 ° C durante todo el período de ensayo que es de 7 días. Después de este lapso, el aumento de peso calculado en porcentaje del suelo seco será registrado como valor de absorción.

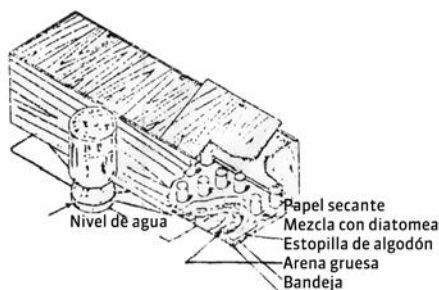


Imagen N° 32 – Cámara para ensayo de absorción

5.7.5.8 Ensayo de resistencia al escurrimiento plástico

Este ensayo se lleva a cabo con las probetas sometidas previamente al ensayo de absorción.

El cilindro de ensayo tiene 2.1/16 pulgadas (52,4 mm) en su diámetro interior, 5" (127 mm) de altura y un espesor de pared de 5/8 de pulgada (15,9 mm). Está provisto en su parte inferior de un plato perforado con orificio de una pulgada cuadrada (6,45 cm²) de sección para la expulsión. El pistón para transmitir la carga tendrá un diámetro de 2,03 pulgadas +/- 0,01 pulgada (51,6 mm +/- 0,25 mm).

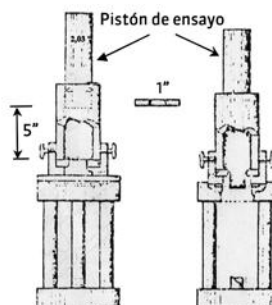


Imagen N° 33– Dispositivo para el ensayo de estabilidad

Para operar se empieza por colocar la probeta con su extremo de absorción hacia abajo dentro del cilindro de ensayo, cuyo orificio inferior en su plato perforado ha sido previamente clausurado mediante un tapón.

De esta manera la probeta será apretada a mano dentro del cilindro, contra el tapón. Una vez que este es removido se aplicará la carga. Previamente se coloca el pistón compresor en el cilindro, éste en su soporte y el conjunto en la máquina de compresión.

Se irán registrando las cargas para cada media pulgada (12,7 mm.) de expulsión de la mezcla, pero sólo la carga determinada al cumplirse la primer media pulgada es considerada como la resistencia al escurrimiento plástico.

Se considera que la estabilización es efectiva cuando la absorción acusa valores inferiores al 12% de la registrada en las probetas de suelo sólo sin tratar, más el ½ % y cuando la estabilidad -resistencia al escurrimiento plástico es igual o superior a 6800 kilogramos.

5.7.5.9 Métodos constructivos

Los métodos constructivos empleados para la estabilización bituminosa pueden dividirse en tres categorías:

a - Mezcla en el camino con elementos comunes

b - Mezcla en el camino con plantas mezcladoras en tránsito

c - Mezcla en planta central

Esta clasificación deriva del sistema o equipo empleado para realizar la mezcla del árido con el material bituminoso.

A su vez dentro de cada método constructivo pueden existir diferentes procesos de

mezclado según sean las características del equipo que se utilice.

En las mezclas en el camino con elementos comunes, las mismas pueden elaborarse mediante la ayuda de la motoniveladora o con la rotativa del tipo pulvi-mixer.

En las mezclas elaboradas en el camino con plantas mezcladoras ámbulo-operantes de una pasada, estas pueden ser mezcladoras de elevación (tipo Barber Green, como la que muestra la siguiente imagen) o de superficie (tipo Wood, Gardner o P&H).

Para las mezclas elaboradas en planta central, estas son similares a las de dosificación por volumen que con algunas simplificaciones se utilizan en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente.

Antes de describir el proceso constructivo detallaremos el equipo esencial necesario para cada uno de los tres sistemas típicos de ejecución para este tipo de estabilización.

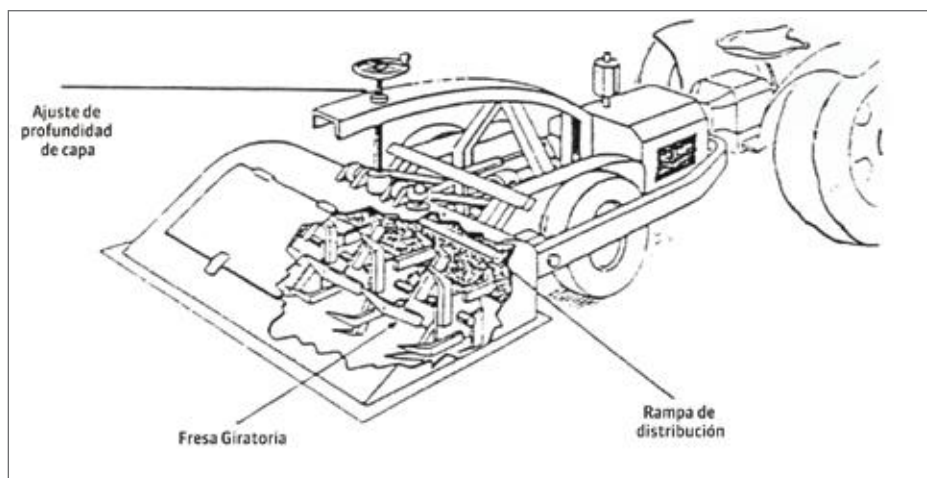


Imagen N° 34 – Mezclador rotativo tipo pulvi-mixer

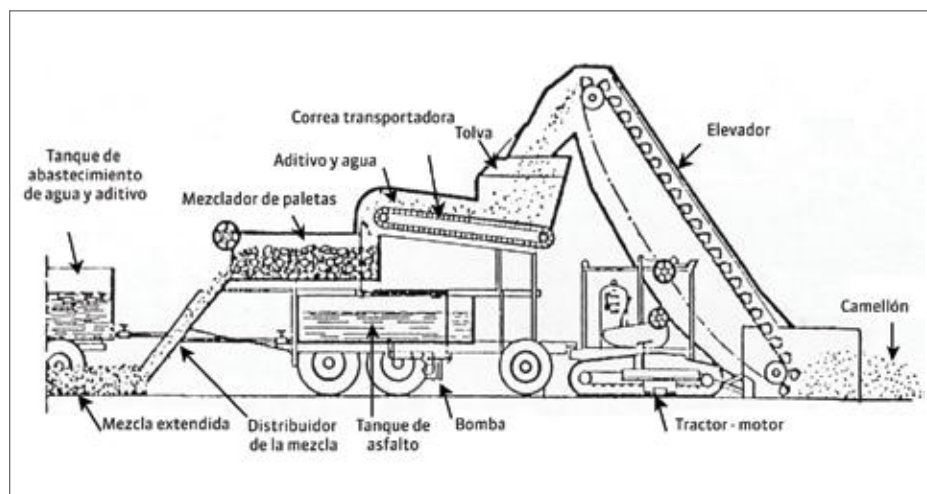


Imagen N° 35 – Planta mezcladora de tránsito tipo de elevación

1 - Mezcla en camino con elementos comunes

1. Motoniveladora del tipo corriente y liviano, para la formación de caballetes y extensión del árido y la mezcla, y para perfilar la capa durante su compactación
2. Camiones regadores de agua con barra distribuidora para humedecer el suelo si fuera necesario
3. Mezcladora rotativa del tipo pulvi-mixer para pulverizar el suelo y luego mezclarlo con la arena, con barra de riego acoplada para la incorporación del asfalto y para su posterior mezclado con el árido
4. Tractor a orugas para tirar la mezcladora rotativa
5. Camiones para el suministro del material bituminoso a la mezcladora rotativa
6. Rastras de discos o arados de rejas para airear y uniformar la mezcla
7. Rodillos “pata de cabra” o segmentados con salientes, neumático múltiple y aplanadoras lisas tipo tándem para la compactación de la mezcla
8. Tractores para tirar las rastras y rodillos “pata de cabra” y neumáticos múltiple (si estos no son autopropulsados)
9. Bombas para agua y asfalto y equipo para el calentamiento del material bituminoso, si fuera necesario
10. Tanques o depósitos para el almacenamiento de agua y de material bituminoso
11. Camión distribuidor de material bituminoso (si el mismo no se incorpora a la mezcla a través de la mezcladora rotativa)

2 - Mezcla en el camino con planta mezcladora en tránsito

1. Planta mezcladora ambulo-operante de una pasada. Este equipo realiza simultáneamente las siguientes operaciones:
 - i. Pulveriza el suelo
 - ii. Mezcla el suelo y la arena
 - iii. Incorpora el agua y el asfalto al suelo o mezcla
 - iv. Mezcla el suelo con el material bituminoso

En algunos modelos tienen una tolva con tornillo sinfín para distribuir en capa.

2. Camiones tanques para el suministro de asfalto a la planta mezcladora
3. Motoniveladoras para formar caballetes, extender la mezcla y perfilar la capa durante su compactación
4. Rastra de discos o arados de rejas para airear la mezcla
5. Camión regador de agua, si esta no es incorporada a la mezcla mediante la planta mezcladora
6. Rodillos “pata de cabra” o segmentados con salientes, neumático múltiple y aplanadora lisa para la compactación de la mezcla
7. Tractores de ruedas y orugas para las rastras y los rodillos de compactación

3 - Mezcla en planta central

1. Planta fija con dosificados por peso o por volumen
2. Camiones tanques para el suministro de asfalto a la planta mezcladora
3. Camiones tolva para transportar la mezcla desde la planta al camino
4. Terminadora convencional, distribuido-

ra con cajón o caballetera

5. Motoniveladoras para formar caballetes, extender la mezcla y perfilar la capa durante su compactación

6. Rastra de discos o arados de rejas para airear la mezcla

7. Camión regador de agua para ajustar humedad, si fuera necesario

8. Rodillos “pata de cabra” o segmentados con salientes, neumático múltiple y aplanadora lisa para la compactación de la mezcla

9. Tractores de ruedas y orugas para las rastras y los rodillos de compactación.

5.7.5.10 Etapas constructivas

Se indicarán brevemente las etapas constructivas que deberán cumplirse para ejecutar una base de suelo-arena-emulsión, que como se indicó oportunamente, constituye la estabilización bituminosa que más se realizó en el país.

Las etapas correspondientes a una mezcla en el camino son las siguientes:

- a) Preparación de la mezcla de suelo y arena
- b) Incorporación de la emulsión y mezclado
- c) Aireación de la mezcla y distribución
- d) Compactación
- e) Librado al tránsito

a) Preparación de la mezcla de suelo y arena

Una vez depositado el suelo en el camino y la arena en caballetes, debe procederse a la mezcla con ayuda de la motoniveladora, que formará finalmente un solo caballete ubicado en el centro de la calzada. Por medio del mismo equipo, dicho caballete se extiende en una capa de espesor

uniforme en el ancho exigido para la base y se pasa la mezcladora rotativa hasta obtener una mezcla más uniforme de los dos materiales. Cuanto más secos estén, más rápido se consigue.

Previo al paso de la etapa siguiente, una vez extendida la mezcla de suelo y arena, se verificará la humedad existente en la misma, que debe estar comprendida entre el límite plástico y el límite líquido en el momento de incorporarle la emulsión. En caso de que hubiera que adicionarle el agua restante, ésta se incorporará mediante el camión regador.

Este alto contenido de humedad es necesario para facilitar el mezclado con la emulsión, evitando la rotura prematura de la misma. De esta forma, además, se consigue una mejor uniformidad de mezclado.

b) Incorporación de la emulsión asfáltica y mezclado

Con la planta mezcladora ámbulo-operante de una pasada o mediante la mezcladora rotativa se incorpora la emulsión asfáltica y se efectúa al mismo tiempo el mezclado de los materiales.

c) Aireación de la mezcla

Una vez terminado el proceso de incorporación y mezclado de la emulsión se procede a levantar nuevamente la mezcla formando dos caballetes a ambos lados de la calzada.

Dicha operación se realiza con el objeto de facilitar que la sub-base sobre la cual se apoyará la base a construir seque

convenientemente el exceso de humedad que le ha transferido la mezcla en ejecución. Posteriormente, cuando la sub-base se encuentre bien seca, se juntarán ambos caballetes en el centro de la calzada con el fin de permitir el oreado del resto de la calzada. Cuando se aprecie que la sub-base está en condiciones se procederá a distribuir el material en todo el ancho posible, a los efectos de comenzar la ventilación y desterronado. La humedad debe ser reducida a la humedad óptima de compactación, cuidando que no se seque por debajo de un punto menos de la misma.

La ventilación se realiza con la rastra de discos o el arado de rejas y el desterronado se logra con el mezclador rotativo. Cambiando el caballete de lugar con la motoniveladora, durante varios días si fuera necesario, también se logra disminuir el contenido de humedad existente en la mezcla.

d) Compactación

Una vez que el material se encuentre ventilado hasta su correcta humedad, se procederá a distribuir la mezcla en el ancho especificado y en el espesor, de manera que una vez compactado se llegue al espesor de proyecto.

La compactación se inicia con los rodillos “pata de cabra” o los segmentados con salientes y al llegar a los 5 cm. superiores aproximadamente de la base, deberá escurificarse y volver a perfilar la capa. Posteriormente se completará la compactación con los rodillos neumáticos y lisos a fin de asegurar una correcta terminación de la superficie. Finalmente, cuando sea

retirado el equipo de compactación se procederá a perfilar nuevamente la base. Con igual criterio se realiza la construcción de las restantes mezclas, sustituyendo los rodillos con salientes por los lisos en caso de materiales granulares. Es importante recordar que las mezclas de suelo-emulsión sólo deben densificarse, sin que se produzca la envuelta de las partículas porque es contraproducente.

5.8 CAPAS DE RECUBRIMIENTO DE LOS ESTABILIZADOS

Lo indicado a continuación se menciona para ser tenido en cuenta en aquellos casos en que se deba mantener la vía transitable. Disponiendo de los recursos necesarios, la superficie de rodamiento puede protegerse con diferentes grados de eficiencia, sin necesidad de recurrir a los pavimentos convencionales.

Estos caminos -aún los mejores proyectados y ejecutados- deben ser mantenidos en forma periódica para que cumplan en forma eficiente con la misión para la que se los necesita, teniendo presente que no son estructuras pensadas para vidas útiles prolongadas como lo son las de los pavimentos de rutas principales.

Hasta aquellos que fueron coronados con materiales estabilizados sufren la erosión ocasionada por el tránsito y el clima, en mayor o menor grado, independientemente del material estabilizante. Para su protección se debe recurrir a riegos y revestimientos que procuren dar al conjunto:

- a) Impermeabilidad**
- b) Resistencia al desgaste**
- c) Seguridad ante resbalamiento o patinaje**

Son los materiales asfálticos -y en particular los emulsionados- los más populares y los que con la tecnología actual pueden brindar soluciones a una variada gama de problemas. No obstante, se probaron con éxito riegos y mezclas con cemento, polímeros, poliamidas, enzimas y diversos tipos de materiales de la rama de los plásticos.

En muchos casos estos sistemas han sido aplicados en caminos y calles que han resistido con efectividad la erosión eólica, las lluvias y el tránsito durante periodos razonables. Enumerados en orden de eficiencia protectora ascendente, los tratamientos más utilizados son los que se detallan a continuación.

5.8.1 Tratamientos bituminosos superficiales sin agregados pétreos

- Paliativo de polvo
- Riego de curado y riego de liga
- Imprimación e imprimación reforzada
- Sellado

5.8.2 Tratamientos bituminosos superficiales con agregados pétreos

- Secativo (blotter)
- Conservativo (preservative)
- Antideslizante (non-skid)
- Sellado
- Lechadas asfálticas (slurry seal y otras)
- Tipo simple, tipo doble, tipo triple
- Mezcla en camino (retread)
- Mezcla en planta
- Microaglomerados asfálticos en frío

Cualquiera sea el tipo de revestimiento superficial elegido, se sugiere proteger sus bordes en los accesos transversales ejecutando un cordón no emergente de hormigón en un largo equivalente al doble del ancho del camino transversal.

Una vez terminados todos los trabajos previstos en toda la zona de camino debe realizarse la implantación y mantenimiento de un tapiz vegetal para evitar la erosión hídrica y eólica de banquetas y taludes.

Como estos trabajos requieren un poco más de aporte ingenieril, para la elección, dosificación y ejecución se sugiere apoyarse en profesionales externos.

Estas superficies de rodamiento nos permiten introducir el señalamiento horizontal que nos asegure una disminución de la siniestralidad vial. Asimismo, dada la cuasi imposibilidad de realizar modificaciones de trazados compatibles con diseños geométricos seguros, debe introducirse también el señalamiento vertical en este tipo de soluciones superiores.



Dado que la Asociación Argentina de Carreteras no puede abrir juicios técnicos sobre los diferentes productos comerciales implicados en las superficies de rodamiento planteadas, sería conveniente que los distintos fabricantes divulguen las construcciones realizadas y su performance, así como las especificaciones, ensayos y normas que avalan la calidad del producto. Esta Asociación ofrece acompañar y brindar la orientación que los departamentos gubernamentales requieran.





Capítulo » 6

Herramientas para un Mejor Control de Gestión

Autor:

Lic. Haydée A. Lordi

Capítulo » 6

Herramientas para un Mejor Control de Gestión

6.1 INTRODUCCIÓN

Como ya fuera mencionado en los primeros capítulos de este manual, el sistema de transporte argentino está diseñado como un sistema de vasos arteriales comunicantes que van desde los caminos rurales terciarios o vecinales a los provinciales y de allí al sistema nacional de transportes.

El núcleo básico de este sistema, normalmente de tierra, opera como distribuidor de la producción. El mal estado de los caminos y su alto grado de intransitabilidad permanente o semipermanente constituyen un cuello de botella que limita el aumento de las exportaciones y la mejora de la productividad, así como el objetivo final de lograr un crecimiento y desarrollo sostenido tendientes a la reducción de la pobreza.

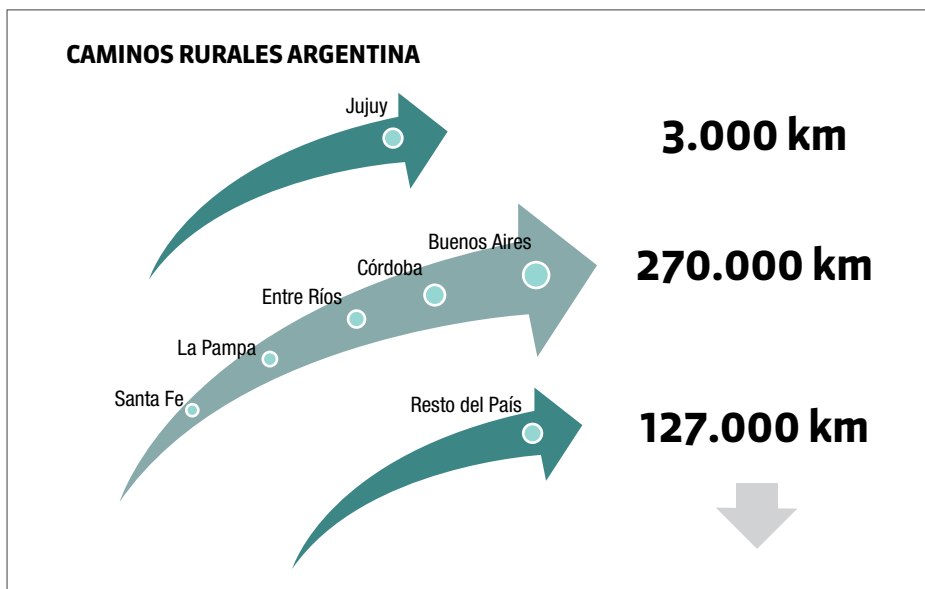


Imagen N° 1 – Caminos rurales de Argentina
Fuente: Asociación Argentina de Carreteras AAC (2017)

La revisión de literatura especializada ha demostrado que, más allá de las condiciones macroeconómicas imperantes en un país, la infraestructura en general y el transporte en particular, son algunos de los factores determinantes del grado de competitividad y especialización productiva del comercio exterior. La falta de una infraestructura de transporte adecuada suele provocar que las empresas exportadoras no tengan acceso a los posibles mercados y funcionen por debajo de su capacidad máxima. Esto se debe a su costosa oferta (provocada por la reducida fiabilidad en el movimiento físico de las materias primas y de los productos finales), a la lenta respuesta a las demandas de los clientes y a los altos costos de transporte.

Por otra parte, tanto el ambiente académico como la evidencia empírica coinciden en aseverar que los costos de transporte son uno de los factores determinantes para el desarrollo de los sistemas productivos locales y la competitividad de la economía, afirmación que es compartida en el presente capítulo.

Se puede afirmar que un buen estado de los caminos rurales en Argentina brindará oportunidades para el acceso al empleo, los mercados, la educación, los servicios de salud, agua y saneamiento así como también para ayudar a la reducción de la pobreza, lograr inclusión social, cuidar al medioambiente y lograr mayor seguridad, colaborando así con el logro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para 2030.

6.2 GUÍA METODOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE CAMINOS RURALES

6.2.1 Objetivo, enfoque y alcance

El presente capítulo tiene como objetivo proporcionar una metodología innovadora e integral para la elaboración de un plan estratégico para la rehabilitación, mantenimiento y conservación de la red de caminos rurales, económica y financieramente sustentable. Esta metodología propone utilizar herramientas de evaluación de proyectos de transporte de una manera diferente a los métodos tradicionales, ya que no se pretende arribar sólo a soluciones técnicas, sino ayudar a la producción, operando asociativamente con ella, e integrar más eficientemente el medio rural dentro de un país o región. Para ello sugiere incorporar elementos de la teoría económica, tomando en cuenta que los beneficiarios directos serán los productores.

Esta metodología orientada a la toma de decisiones en la aplicación de políticas y evaluación de proyectos de caminos rurales fue plasmada en un “modelo de evaluación económica de caminos rurales” (MECAR), que permite evaluar los beneficios económicos de una provincia o región derivados de la rehabilitación y conservación de sus caminos rurales, enmarcado en un plan estratégico de acción a lo largo de ciclos preestablecidos y ejecutables.

El alcance apunta directamente a contribuir con el apoyo a la producción de las áreas rurales y pequeñas localidades, de

forma tal que se puedan fundamentar las actividades de rehabilitación, mantenimiento y conservación de los caminos rurales, mediante la valoración racional de los beneficios que se derivan directamente de la realización de dichas actividades.

6.3 PLAN ESTRATÉGICO DE CAMINOS RURALES

Una buena gestión de caminos rurales debe contar con:

- ✓ **Objetivos de políticas coherentes y racionales**
- ✓ **Financiamiento suficiente, fiable y sostenido en el tiempo**
- ✓ **Procedimientos efectivos y herramientas de gestión (metodologías y modelos de evaluación)**



Toda evaluación formal de proyectos de caminos rurales debería integrarse en un plan estratégico de desarrollo centrado en el incremento de las producciones y la reducción de la pobreza.

Un plan estratégico de caminos rurales podría definirse como un conjunto de objetivos prioritarios, que apuntando a las mejoras productivas, abarcará:

- ✓ **Objetivos de desarrollo:** promover y fortalecer el desarrollo de las áreas de influencia de los caminos rurales a rehabilitar y mantener, a fin de mejorar el nivel de vida de la población. La rehabilitación de los caminos incidirá directamente en la calidad de vida de los habitantes rurales.

- ✓ **Objetivos específicos:** proveer un alto nivel de transitabilidad a fin de posibilitar el incremento de las actividades productivas en sus respectivas áreas de influencia.

Los beneficios esperados serán:

- ✓ El incremento de la accesibilidad para los productores agropecuarios y las comunidades rurales que hoy enfrentan al aislamiento como una restricción esencial para mejorar sus condiciones de vida, ampliando sus oportunidades de diversificar sus actividades productivas, los mercados en los cuales ofrecen los bienes producidos, las posibilidades de empleo y sobre todo el acceso a servicios sociales y públicos.
- ✓ La reducción de los costos de transporte y tiempos de viaje, la diversificación, ampliación y mayor cobertura geográfica y confiabilidad de los servicios de transporte y los menores precios a los usuarios. Esto se traducirá en la mejor accesibilidad a los servicios antes mencionados.
- ✓ La expansión y diversificación de la base productiva, que se manifestará en el mediano plazo, a medida que se consolidan los beneficios provenientes de una accesibilidad permanente.

PLAN DE REHABILITACIÓN DE CAMINOS RURALES BENEFICIOS ESPERADOS

PRODUCTORES Y POBLACIÓN RURAL DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LOS CAMINOS

- Incrementar los ingresos de la población rural
- Mejorar las condiciones de vida de los pobladores rurales, a través de un mejor acceso a la salud, educación, vivienda y tecnología
- Facilitar el desarrollo de una estructura de turismo rural
- Evitar la migración hacia zonas urbanas y radicar nueva población en áreas rurales despobladas
- Revalorizar el valor de la tierra
- Reducir los costos de transporte y de los insumos de las actividades productivas
- Permitir el tránsito de los caminos rurales durante todo el año
- Disminuir el tiempo de viaje hasta los mercados y servicios sociales
- Recomendar el uso de los impuestos inmobiliarios rurales para la creación de infraestructuras rurales

Imagen N° 2 – Beneficios esperados

6.4 ACTIVIDADES DEL PLAN ESTRATÉGICO DE CAMINOS RURALES

- ✓ Inventario vial de los caminos rurales con sus características físicas
- ✓ Jerarquización de los caminos en diferentes categorías
- ✓ Análisis de los problemas locales y estacionales de los caminos
- ✓ Análisis de las mejoras productivas en cada tramo analizado
- ✓ Análisis de los beneficios de un plan de caminos
- ✓ Evaluación de la rentabilidad del plan
- ✓ Evaluación de los posibles programas a considerar

✓ Programa de ejecución tentativa

Dentro del proceso de toma de decisiones sobre inversión en infraestructuras y servicios de transporte, la evaluación económica y social de proyectos de transporte constituye una herramienta fundamental, dado que a través de los principios de la teoría económica y las distintas técnicas existentes se pretende comparar los beneficios que aportan a la sociedad distintos tipos de intervención en los mercados de transporte con el costo de oportunidad de los recursos utilizados en las mismas.

Es importante señalar que la evaluación de un proyecto de caminos rurales no deberá limitarse solamente al cálculo de la rentabilidad del mismo, dado que los beneficios sociales esperados o externalidades positivas podrían compensar ampliamente su inviabilidad económica, debiéndose recomendar por lo tanto la necesidad de ejecución del proyecto.

6.5 REVISIÓN DE METODOLOGÍAS EXISTENTES

Una investigación científica exhaustiva realizada sobre las metodologías y modelos relacionados con el mantenimiento, la rehabilitación y conservación de caminos de bajo volumen de tránsito permitió comprobar que estas actividades generalmente se basan en un programa de actuación sobre un camino o una red vial en el cual se presta escasa o nula atención al ciclo productivo rural.

Existen pocos fundamentos que no sean genéricos que permitan evaluar un plan con conceptos de integralidad, beneficios económicos concretos y afirmaciones basadas en criterios objetivos y demostrables. Es necesario reconocer que incluso las metodologías de evaluación de caminos o de proyectos de infraestructura contemplan inadecuadamente este tipo de proyectos de bajo tránsito, de escasa población y con producciones difíciles de asignar.

Es importante destacar que los proyectos de caminos rurales no constituyen simplemente un proyecto de ingeniería vial, aunque sí lo son las soluciones técnicas. La importancia de pensar en un sistema, en sentido integral en lugar de resolver los problemas con obras puntuales, permitirá tener una visión de política productiva y poder pensar en términos de mediano y largo plazo. Dicho concepto de red integral deberá sumarse a un plan estratégico sustentable en un largo período de tiempo que vaya generando la transitabilidad deseada, con políticas de shock de inversión y mantenimiento permanente o con políticas de inversiones graduales y mantenimiento permanente. La necesidad de la pertenencia y defensa del plan por parte de los productores, los trabajadores y las autoridades deberá constituirse en un punto esencial para el éxito progresivo de las mejoras que podría incorporar el mismo.

Las metodologías tradicionales de evaluación de una obra vial utilizan normalmente el concepto de usuarios directos

e inducidos para obtener los beneficios que reporta dicha obra. En el caso de los caminos rurales, los beneficios deberían ser abordados desde la óptica del productor, para lo cual es necesario realizar algún otro tipo de análisis.

¿Cuáles son los beneficios que se podrían considerar para un camino rural? Sin ninguna duda, uno de los más importantes es la menor pérdida de la producción y la mayor producción que se pueda lograr a partir de una mejora vial, así como también los beneficios sociales, como un mayor nivel educativo y de salud y un incremento de la seguridad vial, traducido todo ello finalmente en una mejor calidad de vida de la población rural.

Para relacionar estos conceptos se han desarrollado metodologías específicas e integrales, como el modelo de evaluación de caminos rurales (MECAR).

La particularidad de esta metodología es que la misma tiene su centro de gravedad en el estudio de las producciones influenciadas por los caminos rurales, que a través de un modelo de análisis diferente a otros tratamientos eminentemente ingenieriles, permite una consideración más amplia de los beneficios económicos y sociales, permitiendo encarar un plan de caminos rurales, que interactúa con diferentes variantes de obras a ejecutar, generando planes de mejora fundados en rentabilidades comprobables.

6.6 REVISIÓN DE MODELOS EXISTENTES

Entre otros, se evaluaron los siguientes modelos internacionalmente reconocidos:

- ✓ Los modelos Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III) y Highway Development and Management Model (HDM-4)¹ a pesar de que presentan un buen sistema para el análisis económico de la inversión y mantenimiento de caminos, no están particularmente enfocados en los caminos de bajo volumen de tránsito (tránsito menor a 50 vehículos por día) en términos de una alta exigencia en el requerimiento de los datos. Por otra parte adoptan el enfoque del excedente del consumidor (usuarios directos e inducidos).
- ✓ El modelo de evaluación económica de caminos de bajo volumen de tránsito (RED)² permite realizar evaluaciones económicas de las inversiones sobre caminos con bajo tránsito medio diario anual (TMDA) y de las opciones de mantenimiento adaptadas a las características de los mismos. Tiene como ventaja que resulta fácil de usar y requiere un número limitado de datos de entrada. Sin embargo también adopta el criterio de excedente del consumidor.
- ✓ El MECAR es un modelo que está especialmente orientado para la toma de decisiones en la aplicación de políticas

y evaluación de proyectos de caminos rurales, ya que provee los elementos para la evaluación de los mismos, desde el punto de vista económico, social y financiero.

6.7 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS DE GESTIÓN

En forma general, podemos decir que, dado un espacio geográfico genérico dividido en zonas, una red de caminos jerarquizados y un conjunto de actividades productivas, los modelos de gestión permiten:

- ✓ Jerarquizar los caminos, categorizándolos en base a su importancia económica, social y funcional
- ✓ Asignar y proyectar las políticas de intervención en los caminos, subdivididas por zonas y/o regiones, caminos, tipo de productos y vehículos para cada horizonte, en las situaciones con y sin proyecto.
- ✓ Estimar los costos de inversión y los beneficios económicos, fiscales y sociales derivados de las posibles mejoras, subdivididos por zonas y/o regiones, caminos, por tipo de productos y vehículos para un determinado horizonte de años, en las situaciones con y sin proyecto
- ✓ Calcular la rentabilidad y realizar un análisis de sensibilidad para diferentes escenarios posibles de inversión en las situaciones con y sin proyecto.

Algunos de ellos, a su vez, pueden permitir tener una red de caminos rurales y producciones georreferenciadas.

¹ El Consejo de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR/PIARC), por recomendación de la Secretaría General de la AIPCR, decidió en 2004 establecer una concesión de servicios para la gestión, desarrollo, marketing, ventas y soporte de HDM-4 Versión 2. Tras una convocatoria de propuestas competitivas y después de una evaluación cuidadosa, fue adjudicado el contrato a HDM Global

² Desarrollado por el Banco Mundial.





Capítulo » 7

Bibliografía y Enlaces de Consulta

Capítulo » 7

Bibliografía y Enlaces de Consulta

CAPÍTULO 1

• “Caminos Rurales – Experiencias en los partidos de Junín, Gral. Madariaga y Maipú – Autores: Ing. Gastón F. Blanc - Ing. Bernardino A. Capra - Ing. Eduardo A. Williams - Comisión Permanente del Asfalto – Rosario - Noviembre de 2008.

• “Conservación de caminos de tierra bonaerenses. Comunicación de experiencias realizadas”. Autores: Ing. Gastón F. Blanc - Ing. Bernardino A. Capra - Ing. Eduardo A. Williams - XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito – Mar Del Plata - Septiembre de 2009.

• Ingeniería de Caminos Rurales – Gordon Keller & James Sherar

• Los Planes Directores - Herramienta Básica para la adecuada Gestión de Conservación en una Red de Caminos de Tierra – Ing. Julio Gago

• Seminario de Caminos Rurales - Asociación Argentina de Carreteras - Centro Argentino de Ingenieros - Buenos Aires - Noviembre de 2003

• Caminos Rurales Terciarios - Hacia un cambio profundo en su Gestión de Conservación - Ing. Julio Gago - XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Septiembre de 2005

• Los Caminos Rurales Terciarios en Argentina - Necesidad de una política – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Mar del Plata - Septiembre de 2009

• El Plan de Obras que es factible implementar en los Caminos Rurales Terciarios – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Córdoba - Octubre 2012

• Caminos Rurales Terciarios - Fundamentos para un Plan Nacional – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - Pre Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Noviembre 2014.

CAPÍTULO 2

• Ingeniería de Caminos Rurales – Gordon Keller & James Sherar

• Instituto Mexicano de Transporte. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. México 2005

• Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje de Caminos – Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Perú 2013

CAPÍTULO 3

• Ingeniería de Caminos Rurales – Gordon Keller & James Sherar

• Normas de Diseño Geométrico de la DNV

• Los Planes Directores - Herramienta Básica para la adecuada Gestión de Conservación en una Red de Caminos de Tierra – Ing. Julio Gago

• Seminario de Caminos Rurales - Asociación Argentina de Carreteras - Centro Argentino de Ingenieros - Buenos Aires - Noviembre de 2003

• Caminos Rurales Terciarios - Hacia un cambio profundo en su Gestión de Conservación - Ing. Julio Gago - XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Septiembre de 2005

• Los Caminos Rurales Terciarios en Argentina - Necesidad de una política – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Mar del Plata - Septiembre de 2009

• El Plan de Obras que es factible implementar en los Caminos Rurales Terciarios – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Córdoba - Octubre 2012

• Caminos Rurales Terciarios - Fundamentos para un Plan Nacional – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - Pre Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Noviembre 2014

CAPÍTULO 4

- “Caminos Rurales – Experiencias en los partidos de Junín, Gral. Madariaga y Maipú – Autores: Ing. Gastón F. Blanc - Ing. Bernardino A. Capra - Ing. Eduardo A. Williams - Comisión Permanente del Asfalto – Rosario - Noviembre de 2008.
- “Conservación de caminos de tierra bonaerenses. Comunicación de experiencias realizadas”. Autores: Ing. Gastón F. Blanc - Ing. Bernardino A. Capra - Ing. Eduardo A. Williams - XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito – Mar Del Plata - Septiembre de 2009.
- “Programa de Mantenimiento de Caminos para la Producción” – Ing. Gastón F. Blanc – Mun. de Junín.
- “Estudio de los Costados del Camino”, Agr. Martínez Paraliéu, Roberto Rivademar, Bernardino A. Capra, trabajo presentado en el XIII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, realizado en la Ciudad de Buenos Aires, del 1º al 5 de Octubre de 2001.
- “Cuarto Concurso de Trabajos Viales” – Publicación Nº28 de la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires – Octubre de 1962.
- Los Planes Directores - Herramienta Básica para la adecuada Gestión de Conservación en una Red de Caminos de Tierra – Ing. Julio Gago
- Seminario de Caminos Rurales - Asociación Argentina de Carreteras - Centro Argentino de Ingenieros - Buenos Aires - Noviembre de 2003
- Caminos Rurales Terciarios - Hacia un cambio profundo en su Gestión de Conservación - Ing. Julio Gago - XIV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Setiembre de 2005
- Los Caminos Rurales Terciarios en Argentina - Necesidad de una política – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Mar del Plata - Setiembre de 2009
- El Plan de Obras que es factible implementar en los Caminos Rurales Terciarios – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Córdoba - Octubre 2012
- Caminos Rurales Terciarios - Fundamentos para un Plan Nacional – Ing. Julio Gago - Coautor Lic. Miguel Salvia - Pre Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito - Buenos Aires - Noviembre 2014

CAPÍTULO 5

- Normas IRAM
- Normas de Ensayo -Dirección Nacional de Vialidad.
- Mecánica de Suelos - E.Juarez Badillo, A.Rico Rodríguez; Edit. Limusa.
- Explanaciones y Drenajes - I. Morilla Abad - Edit. Asoc. Española de la Carretera.
- Estabilización de Suelos - Ing. Raúl A. COLOMBO - Fac. Ingeniería U.B.A.
- Las cales argentinas – Cámara Argentina de la cal
- Cales Aéreas e Hidráulicas hidratadas – LEMIT; J. Colina, M. Waimstein, O. Batic
- Geotecnia de Suelos para Caminos Capítulos 1 a 8 y Cap. 11 – Ing. Norberto Cerutti – Fac. Ingeniería, Esc. de Graduados Ingeniería de Caminos UBA.
- Estabilización con asfalto – Ing. Boris Dorfman – Fac. Ingeniería, Esc. de Graduados Ingeniería de Caminos UBA.
- Wen-Han Wang, Davidson D.T. y otros. Univ. IOWA U.S.A.-Comparison of various Commercial Limes of Soil Stabilization. H. R. B.
- Le Roux A., Riviere A. - Traitements des sols argileux par la Chaux - Bull Liaison Nº 40
- Shen C. K., Li S.K. - Lime Stabilization of Sand and Sand-Clay Mixtures - 49th Annual meeting on Lime and Fly Ash Stabilization U.S.A
- Soil – Cement Laboratory Handbook – Portland Cement Association.
- Soil – Cement Construcción Handbook – Portland Cement Association.
- ICPA. Aplicación de suelo cemento para el mejoramiento de caminos vecinales y rurales. Abril 1995.
- Thompson, M. Soil stabilization for pavement systems-state of the art. Technical Report, Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois, Estados Unidos. 1970.
- IECA. ANCADE. Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o cal. España. 2009
- ICPA. Departamento Técnico de Pavimentos. Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento. Marzo 2011.
- Mejoramiento y estabilización e suelos – C. Fernández Lacuza- Limusa.

Bibliografía y Enlaces de Consulta

(continuación)

- A Basic Asphalt Emulsion – Asphalt Institute Manual series N° 19.
- www.vialidad.gov.ar/sites/default/files/PETG_11.pdf
DNV - ET de microaglomerados asfálticos en frío
- [www.vialidad.cl. materialcursos. Tratamiento superficial](http://www.vialidad.cl/materialcursos.Tratamiento%20superficial)
- DPV Santa Fe. Especificaciones técnicas vegetado de banquetas y taludes.
- Recubrimiento de caminos con microaglomerado en frío. Ing. Daniel Campo. Congreso Argentino de caminos rurales. Olavarría (Buenos Aires) 2016

CAPÍTULO 6

- “Avances en la planificación y evaluación de proyectos” Haydée A. Lordi Ciclo de conferencias del Comité Nacional – AIPCR/PIARC ARGENTINA. Asociación Argentina de Carreteras. Buenos Aires -Argentina (19 de Octubre de 2017) <http://www.aacarreteras.org.ar/pdf/PRESENTACION-CONFERENCIA-LORDI.pdf>
- “Estudio y análisis de los beneficios económicos provenientes de un plan de rehabilitación y conservación de caminos rurales”. Haydée Lordi, Gustavo Regazzoli. Revista Carreteras. Asociación Argentina de Carreteras 2011 http://www.aacarreteras.org.ar/uploads/pdf/pdf_Revts/202-todo.pdf
- “Strategic plan for the rehabilitation of argentine rural roads applying an innovative integral simulation model for economic & social project appraisal (EMRR- MECAR)” Haydée A. Lordi. 25th World Road Congress, Seoul, Corea. Copyright World Road Association AIPCR/ PIARC (Nov. 2015)
- <http://www.aacarreteras.org.ar/pdf-seul/Plan-Estrategico-rehabilitacion-Caminos-Rurales-HLordi-Poster.pdf>
- www.aacarreteras.org.ar/pdf-seul/Plan-Estrategico-rehabilitacion-Caminos-Rurales-HLordi-Poster.pdf
- co-rehabilitacion-Caminos-Rurales-HLordi-Trabajo.pdf, <https://www.piar.org/es/calendario/Congreso-Mundial-Carreteras-Asociacion-Mundial-Carreteras/XXV-World-Road-Congress-Seoul-2015/>, <https://www.youtube.com/watch?v=XCwEmAFfyEQ>
- “Study & analysis of the economic benefits of a rehabilitation & conservation plan for rural roads (MECAR)”. Haydée A. Lordi. Conference at The Chartered Institution of Highways & Transportation (CIHT), Londres, Reino Unido.(Octubre 2012) <http://www.ciht.org.uk/en/about-us/index.cfm>
- “Beneficios económicos y sociales en las carreteras rurales Modelo MECAR”, Haydée A. Lordi. Seminario Internacional “Gestión de Activos viales para carreteras rurales y de bajo volumen”, organizado por la Asociación Mundial de Carreteras (PIARC-AIPCR), en conjunto con el Estado Plurinacional de Bolivia mediante la Administradora Boliviana de Carreteras. (Mayo -25, 2017). <http://www.seminariobolivia2017.com/disertantes.php>
- www.seminariobolivia2017.com/somos.php
“Description of the HDM-III Model Vol 1. and Vol 2”, User Manual for the HDM III - Highway Design and Maintenance Standards Model. World Bank, Washington, DC, EE. UU. (1987). <https://trid.trb.org/view.aspx?id=451315>
- “Estudio y análisis de los beneficios económicos provenientes de un plan de rehabilitación y conservación de caminos rurales Modelo MECAR”. Haydée A. Lordi. XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. VIII Congreso ITS. “Los desafíos del sistema de transporte”. Hotel Provincial. Mar del Plata. Argentina. (14 -18 de Septiembre de 2009).
- “Guide for Design of Pavement Structures”. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO Washington, DC, EE. UU). (1993). <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

- “Guide to Calibration and Adaptation of HDM-4”. Christopher R. Bennett & William D. O. Paterson. HDM-4 Volume 5. (2000) <http://www.lpcb.org/index.php/documents/papers-and-reports/reports-and-books/332-2000-guidelines-on-calibration-and-adaptation-of-hdm-4-1/file>
- “The role of HDM-4 in road management”, Henry R Keral. School of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, B15 2TT, United Kingdom. Fourth International Conference on Managing Pavements, Durban, South Africa: University of Pretoria (May 1998). <https://ntl.bts.gov/lib/12000/12100/12140/pdf/Kerali.pdf>
- Nuevos avances en la planificación y modelación del transporte. Haydée A. Lordi. Revista Carreteras 207 (Octubre 2012)
- “Plan estratégico para los caminos rurales para la Provincia de Jujuy -Argentina”. Consejo Federal de Inversiones. Haydée A. Lordi, H., Gustavo Regazzoli y Miguel A. Salvia. (2007).
- “Plan estratégico p/rehabilitacion de caminos rurales aplicando el modelo de evaluacion economica y social (MECAR)”. Congreso Argentino de Caminos Rurales, Asociación Argentina de Carreteras Centro Municipal de Convenciones (CCO) de la ciudad de Olavarría, provincia de Buenos Aires, 29 y 30 de junio de 2016. <http://www.caminosrurales.org.ar/pdfs/jueves/011-TT-PLAN-ESTRATEGICO-MECAR-HAYDEE-LORDI.pdf> <http://caminosrurales.org.ar/#>
- “Road Network Evaluation Tools RONET Versión 2. Working Paper No. 89-A – Spanish”. Sub-Saharan Africa Transport Policy Program SSATP. (Abril 2009). <http://www.worldbank.org/afr/ssatp>.
- “Roads Economic Decision Model (RED)” -, Africa Region Banco Mundial. (Julio 2004). [https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/HTML/Models/RED_3.2/RED%20-%20RED%20Model%20Version%203.2/RED%20-%20User%20Guide%20&%20Case%20Studies%20\(version%203.2\).pdf](https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/publications/HTML/Models/RED_3.2/RED%20-%20RED%20Model%20Version%203.2/RED%20-%20User%20Guide%20&%20Case%20Studies%20(version%203.2).pdf)
- “Rural Infrastructure in Argentina: Its Challenges, Key Issues and Options for its Development”. Report No. 26271. World Bank. Washington, DC. (2004)
- “Rural Poor in Rich Rural Areas: Poverty in Rural Argentina”. World Bank Policy Research Working Paper 4096. Verner D. (2006)
- “Synthesis of Road Evaluations and Experience”. Evaluation Report EV 587, ODA (1996). <https://www.oecd.org/derec/denmark/42211620.pdf>
- “The TRRL Road Investment Model for Developing Countries (RTIM2)”. Parsley, L. and Robinson, R. (1982). TRRL Laboratory Report No. 1057. <https://trl.co.uk/reports/LR1057>
- “Vehicle Operating costs: Evidence from Developing Countries”. Cheshier, A. and Harrison, R. World Bank, Washington, DC, EE. UU (1987). <http://documents.worldbank.org/curated/en/447771468766216429/pdf/multi-page.pdf>
- “World Bank, Road Software Tools, Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III) and (HDM-IV)” <http://www.worldbank.org/en/topic/transport>
- The World Road Association (PIARC) on behalf of the ISOHDM Sponsors, Paris, France. HDM-4 <http://www.hdmglobal.com/>
- World Road Association” (Asociación Mundial de Carreteras). www.piarc.org/es/Base-Conocimiento/gestion-del-patrimonio-vial/HDM-4-Software/

Notas



*"Desde 1952
por más y mejores
caminos"*

...



Asociación Argentina
de Carreteras

Av. Paseo Colón 823 7° Piso (C1063ACI)
C.A.B.A. - Argentina
Tel./fax: (+54 11) 4362-0898
secretaria@aacarreteras.org.ar
www.aacarreteras.org.ar